



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARÁMETROS
ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO
METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: JUAN DOMINGO MONGE GUAMÁN

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE SÁNCHEZ M.Sc.

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARÁMETROS
ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO
MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: JUAN DOMINGO MONGE GUAMÁN

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE SÁNCHEZ M.Sc.

CUENCA - ECUADOR

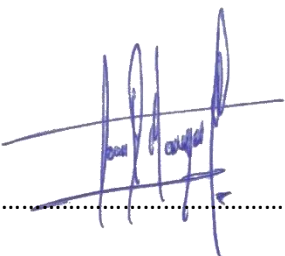
2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Juan Domingo Monge Guamán portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0104152236**. Declaro ser el autor de la obra: **“DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARÁMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **27 de enero de 2022**



F:

Juan Domingo Monge Guamán

0104152236

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Luis Mario Almache Sánchez certifico que, la presente investigación DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS, realizado por el señor Juan Domingo Monge Guamán, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, perteneciente a la Unidad Académica De Ingeniería, Industria y Construcción, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.



Firmado electrónicamente por:

**LUIS MARIO
ALMACHE
SANCHEZ**

Ing. M.Sc. Luis Mario Almache Sánchez

TUTOR

DEDICATORIA

A mis padres Jaime Vicente Monge (+), Rosario Guamán.

A mis hermanos Jaime, Marco y María del Carmen.

A mis sobrinos Mateo, Samuel, Joaquín y Nicolás.

Seres queridos y amigos.

Por el apoyo y confianza que de forma incesantemente e incondicional me brindaron a lo largo de este camino, siendo un apoyo fundamental para la consecución de esta meta en mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mi tutor en la persona del Ing. Luis Mario Almache y maestros que, durante años en el transcurso de la vida universitaria, se convirtieron en una luz de conocimiento en las aulas, siendo una de las bases fundamentales en la consecución de este logro a nivel académico.

A mi madre y hermanos por la paciencia, confianza y dedicación que depositaron en mi a lo largo de este camino. Ellos han sido fortaleza y ejemplo al afrontar la vida con decisión pese a las dificultades que en ella han encontrado. Solo puedo agradecerles por haberme formado desde pequeño y convertirme en la persona que hoy en día me he convertido.

A los amigos y seres queridos que durante este transcurso de la vida han sido apoyo incondicional, en todo momento que las situaciones y circunstancias lo ameritasen, por complicado que el panorama se presentara estuvieron brindándome siempre palabras de aliento, su ayuda absoluta y desinteresada, hasta llegar a la culminación de esta etapa importante en lo que a mi formación profesional se refiere.

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo determinar parámetros elásticos de las capas del subsuelo, módulo de elasticidad (E), coeficiente de Poisson (μ) y módulo de Balasto (k_s) a través de métodos de exploración directos e indirectos, en una porción de terreno del campus “Miracielos” perteneciente a la Universidad Católica de Cuenca. Para ello se realizaron calicatas a cielo abierto de donde se recuperó material inalterado para su clasificación y determinación de (E), (μ) y (k_s), a partir de ensayos triaxiales UU. La metodología empleada para la exploración indirecta fue la sísmica de refracción ensayo MASW, que por medio de las velocidades de onda, V_p y V_s , se obtuvieron parámetros elásticos del suelo mediante formulaciones y correlaciones empíricas. A partir de la exploración directa se determinó en el área de estudio un suelo arenoso limoso (SP-SM), expone un coeficiente elástico variable $E = 30000$ a 60000 kN/m²; $\mu = 0,24$ a $0,26$; y $k_s = 17000$ a 68000 kN/m³. De forma paralela a través del ensayo MASW se determinó la presencia de arenas densas con $E = 20000$ a 28000 kN/m²; $\mu = 0,21$ a $0,29$; y $k_s = 13000$ a 16000 kN/m³. Las dos metodologías de exploración muestran similitudes en sus resultados, pudiéndose concluir que existe una correlación aceptable entre los valores obtenidos de los ensayos triaxiales y la sísmica de refracción, convirtiéndose estos últimos en una alternativa confiable y eficiente para el análisis de las características de los suelos.

Palabras clave: Módulo de elasticidad; Módulo de Poisson; Coeficiente de Balasto; Sísmica de Refracción; Ensayo Triaxial UU

ABSTRACT

The present work aims to determine elastic parameters of the subsoil layers, modulus of elasticity (E), Poisson's coefficient (μ), and ballast modulus (k_s) through direct and indirect exploration methods, in a portion of the land of the "Miracielos" campus belonging to the Catholic University of Cuenca. For this purpose, open-pit tests were made from which undisturbed material was recovered for its classification and determination of (E), (μ), and (k_s), from triaxial UU tests. The methodology used for indirect exploration was the seismic refraction MASW test, which through the wave velocities, V_p and V_s , elastic parameters of the soil were obtained employing empirical formulations and correlations. From the direct exploration, a sandy silty soil (SP-SM) was determined in the study area, exhibiting a variable elastic coefficient $E = 30,000$ to $60,000$ kN/m²; $\mu = 0.24$ to 0.26 ; and $k_s = 17,000$ to $68,000$ kN/m³. In parallel through the MASW test, the presence of dense sands was determined with $E = 20000$ to 28000 kN/m²; $\mu = 0.21$ to 0.29 ; and $k_s = 13000$ to 16000 kN/m³. The two exploration methodologies show similarities in their results, and it can be concluded that there is an acceptable correlation between the values obtained from triaxial tests and refraction seismic, making the latter a reliable and efficient alternative for the analysis of soil characteristics.

Keywords: modulus of elasticity, Poisson's modulus, ballast coefficient, refraction seismic, triaxial UU test

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
INTRODUCCION.....	7
CAPITULO I. GENERALIDADES.....	9
1.1 Antecedentes.....	9
1.2 Justificación.....	11
1.3 Objetivos.....	13
1.3.1 Objetivo General.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos.....	13
1.4 Descripción de la zona de estudio.....	13
1.4.1 Ubicación.....	13
1.4.2 Clima.....	16
1.4.3 Hidrografía.....	17
1.4.4 Componente Geológico.....	18
CAPITULO II. MARCO TEORICO.....	20
2.1 Teoría de la elasticidad.....	20
2.2 Parámetros elásticos.....	20
2.2.1 Módulo de Elasticidad (E).....	20
2.2.2 Relación de Poisson (μ).....	22
2.2.3 Módulo de rigidez a corte (G).....	24
2.2.4 Coeficiente de balasto (k_s).....	25
2.3 Estudio geotécnico.....	27
2.4 Métodos de exploración.....	28
2.4.1 Exploración Directa.....	28

2.4.2	Exploración Indirecta	34
2.5	Clasificación de suelos SUCS.....	47
2.5.1	Granulometría.....	51
2.5.2	Límites de Atterberg.....	53
2.6	Ensayo de corte directo.....	56
2.7	Ensayo triaxial	57
CAPITULO III. ENSAYOS		59
3.1	Ensayos por exploración directa	59
3.1.1	Calicatas	59
3.1.2	Clasificación de suelo.....	63
3.1.3	Ensayo Corte Directo.....	72
3.1.4	Ensayo Triaxial.....	74
3.2	Ensayo por exploración indirecta	77
3.2.1	Sísmica de refracción MASW	77
CAPITULO IV. RESULTADOS		86
4.1	Resultados métodos de exploración directa.....	86
4.2	Resultados métodos de exploración indirecta.....	87
4.3	Correlación y análisis de resultados.....	88
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		96
5.1	Conclusiones	96
5.2	Recomendaciones	99
BIBLIOGRAFÍA		100
ANEXOS		106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Mapa Político del Cantón Cuenca.</i>	14
Figura 2. <i>Mapa de ubicación de la Parroquia Ricaurte y del Campus "Miracielos"</i>	15
Figura 3. <i>Ubicación de la Zona de estudio</i>	16
Figura 4. <i>Modulo Tangente y secante en la gráfica esfuerzo-deformación</i>	22
Figura 5. <i>Ciclo de Histéresis esfuerzo-deformación del suelo</i>	24
Figura 6. <i>Coefficiente de Balasto</i>	26
Figura 7. <i>Geometría de la veleta de campo</i>	30
Figura 8. <i>Penetrometro de cono de fricción mecánico</i>	31
Figura 9. a) <i>Diagrama esquemático de un dilatómetro de placa plana; b) sonda de dilatómetro insertada en el terreno</i>	32
Figura 10. <i>Detalle cuchara partida ASTM D-1586</i>	33
Figura 11. <i>Esquema para arreglo de electrodos ensayo SEV</i>	35
Figura 12. <i>Esquema de ensayo de refracción y reflexión sísmica</i>	36
Figura 13. <i>Sismograma sondeo por refracción sísmica</i>	37
Figura 14. <i>Ondas Primarias o de compresión (P) y ondas secundarias o de corte (S)</i>	38
Figura 15. <i>Espectro de velocidad (frecuencia-tardanza) mediante técnica ReMi</i>	46
Figura 16. <i>Grafica periodo-velocidad de fase de onda Rayleigh, método ReMi</i>	47
Figura 17. <i>Perfil unidimensional de velocidad de onda de corte (Vs) contra profundidad</i> 47	47
Figura 18. <i>Sistema unificado de clasificación de suelo SUCS</i>	50
Figura 19. <i>Curva de distribución de tamaño de partícula</i>	52
Figura 20. <i>Límites de Atterberg</i>	53
Figura 21. <i>Dimensiones de la ranura en la copa de Casagrande</i>	54
Figura 22. <i>Curva de flujo para determinar el límite líquido de una arcilla limosa</i>	55
Figura 23. <i>Diagrama de arreglo para prueba de corte directo</i>	56
Figura 24. <i>Ubicación de puntos de extracción de suelo por medio de calicatas a cielo abierto</i>	59
Figura 25. <i>Calicata 1, para extracción de muestra</i>	60
Figura 26. <i>Calicata 2, para extracción de muestra</i>	60
Figura 27. <i>Labrado y extracción de muestra inalterada en la pared de la zanja</i>	61
Figura 28. <i>Estratigrafía Visual punto de extracción Calicata 1</i>	62
Figura 29. <i>Estratigrafía Visual punto de extracción Calicata 2</i>	62
Figura 30. <i>Curva Granulométrica correspondiente a la Calicata 1, Estrato 1</i>	64
Figura 31. <i>Curva Granulométrica correspondiente a la Calicata 1, Estrato 2</i>	64
Figura 32. <i>Curva Granulométrica correspondiente a la Calicata 2, Estrato 1</i>	65
Figura 33. <i>Curva Granulométrica correspondiente a la Calicata 2, Estrato 2</i>	65
Figura 34. <i>Colocación del material para realizar ensayo de la cuchara de Casagrande</i> ...	67
Figura 35. <i>Porción de material que entró en contacto al realizar el ensayo de la cuchara de Casa grande luego de 25 golpes</i>	67
Figura 36. <i>Límite Líquido Calicata 1 Estrato 1</i>	68
Figura 37. <i>Límite Líquido Calicata 1 Estrato 2</i>	68

Figura 38. Límite Líquido Calicata 2 Estrato 1	69
Figura 39. Límite Líquido Calicata 2 Estrato 2	69
Figura 40. Material utilizado para la determinación de L.L. y L.P. antes del secado	70
Figura 41. Labrado de probeta ensayo corte directo	72
Figura 42. Equipo para ensayo de corte directo	73
Figura 43. Gráfica Esfuerzo Cortante máximo y Normal máximo, Calicata 1 estrato 2	73
Figura 44. Gráfica Esfuerzo Cortante máximo y Normal máximo, Calicata 2 estrato 2	74
Figura 45. Muertas labradas de material inalterado para ensayo triaxial.....	75
Figura 46. Aplicación de presión y fuerza axial en la muestra, ensayo triaxial UU	75
Figura 47. Envolvente de falla, Calicata 1, Estrato 2	76
Figura 48. Envolvente de falla, Calicata 2, Estrato 2	77
Figura 49. Ubicación de Líneas Sísmicas en el área de estudio	78
Figura 50. Equipo de geofísica PASI GEA 24, cable trigger, cable sísmico, geófonos	79
Figura 51. Colocación de geófonos y tendido de línea sísmica.....	79
Figura 52. Conexión y configuración de equipo para ensayo de Sísmica de refracción (MASW)	80
Figura 53. Disparo generador de vibración, por medio pasivo martillo-placa.....	80
Figura 54. Grafica de dispersión velocidad-frecuencia, línea sísmica 1	81
Figura 55. Grafica de dispersión velocidad-frecuencia, línea sísmica 2	81
Figura 56. Grafica de dispersión velocidad-frecuencia, línea sísmica 3	82
Figura 57. Grafica de dispersión velocidad-frecuencia, línea sísmica 4	82
Figura 58. Curvas profundidad-velocidad, para V_p y V_s , línea sísmica 1	83
Figura 59. Curvas profundidad-velocidad, para V_p y V_s , línea sísmica 2	83
Figura 60. Curvas profundidad-velocidad, para V_p y V_s , línea sísmica 3	83
Figura 61. Curvas profundidad-velocidad, para V_p y V_s , línea sísmica 4.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de coordenadas que delimitan el área de estudio	15
Tabla 2. Parámetros Elásticos para varios tipos de suelo	21
Tabla 3. Valores comunes de la reacción de la subrasante, $k_{0,3}$	27
Tabla 4. Varios parámetros elásticos a partir de V_p y V_s	41
Tabla 5. Lugares de extracción de muestras y tipo de material recolectado por estrato	63
Tabla 6. Valores para D_{10} , D_{30} , D_{60} , C_c y C_u por estrato	66
Tabla 7. Contenido de componente Grueso, Arena y fino por estrato de las muestras	66
Tabla 8. Valores de L.L, L.P, I.P, obtenidos de las muestras extraídas para el estudio.....	70
Tabla 9. Clasificación de Suelo resultado de los ensayos realizados en el laboratorio	71
Tabla 10. Valores de ángulo de fricción y cohesión de las muestras extraídas con material inalterado ensayo corte directo	74
Tabla 11. Valores de esfuerzos σ_1 , σ_2 , σ_3 , obtenidos del ensayo triaxial UU del material analizado	76
Tabla 12. Valores de ángulo de fricción y cohesión de las muestras extraídas con material inalterado ensayo triaxial UU.....	77
Tabla 13. Rango de velocidades para las ondas de compresión en el suelo y roca.....	84
Tabla 14. Valores típicos de V_p y V_s	85
Tabla 15. Valores de V_p y V_s obtenidos de las líneas sísmicas	85
Tabla 16. Módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson obtenidos por medio exploración directa.....	86
Tabla 17. Coeficiente de balasto a partir de E , μ y base de cimentación cuadrada de 1.00 m	87
Tabla 18. Coeficiente de balasto a partir de E , μ y base de cimentación cuadrada de 1.50 m	87
Tabla 19. Parámetros elásticos del Subsuelo E , μ , k_s obtenidos a través de V_p y V_s . Ensayo MASW, sísmica de refracción.....	88
Tabla 20. Valores de c y ϕ , determinados a través de V_p y V_s mediante sísmica de refracción a 3.00 m de profundidad.	88
Tabla 21. Correlación de resultados, clasificación de suelo, entre calicata 1 y línea sísmica 1 y 2	89
Tabla 22. Correlación de resultados, clasificación de suelo, entre calicata 1 y línea sísmica 3 y 4	89
Tabla 23. Correlación de resultados, clasificación de suelo, entre calicata 2 y línea sísmica 1 y 2	90
Tabla 24. Correlación de resultados, clasificación de suelo, entre calicata 2 y línea sísmica 3 y 4	90
Tabla 25. Correlación de resultados de parámetros mecánicos del suelo c y ϕ , a través de ensayos de corte directo, triaxial y sísmica de refracción	91

Tabla 26. <i>Correlación de resultados, entre calicata 1, línea sísmica 1 y 2, valores de parámetros elásticos para suelos arenosos</i>	92
Tabla 27. <i>Correlación de resultados, entre calicata 1, línea sísmica 3 y 4, valores de parámetros elásticos para suelos arenosos</i>	93
Tabla 28. <i>Correlación de resultados, entre calicata 2, línea sísmica 1 y 2, valores de parámetros elásticos para suelos arenosos</i>	94
Tabla 29. <i>Correlación de resultados, entre calicata 2, línea sísmica 3 y 4, valores de parámetros elásticos para suelos arenosos</i>	95

INTRODUCCION

El estudio de los parámetros elásticos del subsuelo está basado en la aplicación de ensayos de campo entre los cuales consta, la exploración directa (calicatas), exploración indirecta (sísmica de refracción), ensayos de laboratorio (triaxiales), que resultan fundamentales al estimar valores de los asentamientos determinando para ello los módulos de elasticidad (E), coeficiente de Poisson (μ), módulo de Balasto (k). Estos permiten a los profesionales de la ingeniería una adecuada interpretación de la interacción entre el suelo y la estructura que se reflejara en diseños eficientes y confiables de diferentes tipos de cimentaciones necesarias para la ejecución de obras civiles.

Estudios previos realizados por varios autores han establecido los valores numéricos de los parámetros elásticos del suelo, estos son utilizados como base de comparación y correlación de los resultados, teniendo en cuenta que los valores establecidos para las comparaciones varían dependiendo del tipo de suelo que se determine según el material predominante en la zona de estudio. La exploración directa (calicatas) es el método empleado que brinda los resultados más satisfactorios debido a que consiste en realizar excavaciones manuales o por maquinaria que permiten entre otras ventajas la observación directa de los estratos del suelo, realizar ensayos “*In situ*”, extracción de muestras alteradas e inalteradas, sometiénolas a ensayos normados y con alto grado de confiabilidad. Por otro lado los métodos indirectos (sísmica de refracción) se basan en la medición de la variación de la velocidad en que se propagan las ondas V_p , V_s ; y la determinación de las propiedades del suelo se realiza mediante correlaciones y formulaciones empíricas.

En el Ecuador la exploración geofísica (métodos indirectos) no son utilizados de forma frecuente debido a que su introducción es muy reciente y no se cuenta con los equipos

necesarios y con información relevante que describa la utilización de la técnica y sus beneficios, siendo de más amplia aceptación los estudios por exploración directa.

Por esta razón esta investigación busca establecer una correlación entre los resultados obtenidos que permitan aumentar la confiabilidad y eficiencia de los métodos geofísicos frente a las técnicas convencionalmente utilizadas, lo que se podría ver reflejado en un uso más eficiente de recursos.

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Los estudios geotécnicos en su ejecución buscan recolectar la mayor cantidad de información que describa el comportamiento de una masa de suelo. En tal forma que al momento de realizar una obra civil cualquiera que fuese su magnitud y utilidad, en proyectos viales, habitacionales, mineros, hidroeléctricos, etc. El ingeniero cuente con todos los parámetros necesarios que garanticen la durabilidad y seguridad para la obra y los habitantes que serán beneficiados por su ejecución.

La utilización de los materiales para la construcción es tan antigua como el origen mismo de los asentamientos humanos. Inicialmente las civilizaciones veían prosperidad al ubicarse en las cercanías de los ríos de donde surgían retos al construir estructuras capaces de captar el agua para consumo, para riego, diques y unidades de construcción que les brinden seguridad al establecerse como pequeñas agrupaciones. Pasado el tiempo el ser humano se volvió más ambicioso y pensó en construcciones de altura para diferentes usos, templos, monumentos, tumbas, que podrían ser apreciadas desde grandes distancias, una muestra de ello son las civilizaciones: Sumeria, China, Griega, Romana, Egipcia entre otras, siendo esta última asentada en las cercanías del río Nilo. Constructores de obras de ingeniería entre ellos sistemas de riego eficientes para su época y monumentales e imponentes construcciones como templos, esfinges y las emblemáticas pirámides, que hasta hoy han perduran en el tiempo.

Aun cuando muchas de las estructuras levantadas en la antigüedad y en épocas más recientes son obras impresionantes de ingeniería no todas han podido extender su vida a través de los años debido a errores en los procesos constructivos y desconocimiento de

características inherentes del suelo sobre el cual son levantadas. Características como: el origen y formación del suelo, la composición granulométrica, humedad, capacidad de carga, eran desconocidas convirtiéndose en la causa de asentamientos excesivos y la posterior aparición de cuarteaduras que comprometían la integridad de las construcciones y en algunos casos causaban el colapso de las mismas. Estas situaciones se volvieron las principales preocupaciones de los ingenieros que en base a extensos estudios de las características que describen el comportamiento de los suelos han creado teorías que describen las técnicas para el análisis de sus propiedades desencadenándose en una correcta y más eficiente interpretación de la interacción de estos con las estructuras a través de las cimentaciones.

La aparición de la ingeniería geotécnica nace alrededor del siglo XVIII. Pero dio un gran salto en el año 1773, de la mano Charles Agustín de Coulomb y la presentación de su trabajo acerca de la aplicación de máximos y mínimos a problemas estáticos, presenciando el inicio de una etapa conocida como la mecánica de suelos clásica. Este fue el punto de partida para múltiples investigaciones que marcaron esta etapa entre ellos, el ingeniero Darcy en 1856, y su contribución a cerca de la permeabilidad en los suelos. Y el físico e ingeniero Macquorn Rankine en 1857, con su teoría de empuje y equilibrio de masa. Sellaron los avances fundamentales en el capo geotécnico durante los siguientes años. Pero sin lugar a duda quien a revolucionado el mundo científico en lo que al entendimiento del suelo se refiere a sido Karl Terzaghi, conocido también como el padre de la mecánica de suelos moderna, publico su libro *Erdbaumechanik*, donde presenta aclaraciones y correcciones a las teorías de Atterberg, 1908, acerca del comportamiento de suelos cohesivos por medio de los límites de consistencia y la teoría de la consolidación (Das, 2015).

Comprender como el suelo actuara ante la aplicación de una carga generalmente provocada por la cimentación de una estructura es fundamental para un profesional de la ingeniería, ya que mediante este conocimiento de los parámetros, físicos, mecánicos, y elásticos, se pueden obtener diseños seguros y eficientes que satisfagan las necesidades de los habitantes. Para obtener este conocimiento es necesario realizar las exploraciones necesarias que permitan caracterizar de forma correcta los parámetros que rigen el comportamiento del suelo. Estas metodologías de exploración se encuentran reguladas según las normativas vigentes en cada país. Para el caso del Ecuador esta se encuentra descrita en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-15, en su capítulo destinado a la geotecnia, NEC-SE-GC, donde se describen las metodologías empleadas para la exploración del suelo ya sea de forma directa o indirecta a ser utilizadas que permitan una caracterización adecuada del suelo.

1.2 Justificación

A partir de un estudio geotécnico definitivo se busca determinar parámetros del suelo que permitan predecir su comportamiento ante la eminente construcción de una obra, garantizando su perdurabilidad y seguridad para los habitantes que se encuentren beneficiados de su realización. Existen diferentes métodos para la obtención de dichas características que pueden ser directos como: calicatas, ensayos SPT y CPT, veletas, dilatómetro, que recolectan muestras de suelo para su observación directa y posteriores análisis en el laboratorio y así determinara las características de una zona en estudio. De igual manera existen métodos que obtienen parámetros representativos del suelo a través de correlaciones con propiedades físicas de la tierra como: ondas sísmicas, variaciones en el campo magnético y eléctrico, radiación, estos son denominados indirectos.

En el presente estudio se determinará parámetros elásticos de las capas del subsuelo tales como: Modulo de Elasticidad (E), Coeficiente de Poisson (μ), y el coeficiente de Balasto (k), utilizados en el área de ingeniería principalmente para la estimación de asentamientos y la interacción entre el suelo y la estructura; a través de métodos de exploración directa (calicatas) y métodos de exploración indirecta (sísmica de refracción). Con la finalidad de analizar, comparar y validar el grado de concordancia de la información obtenida por medio de estas dos metodologías que se hallan contempladas en la NEC-15 en lo que se refiere a materia de exploración del suelo. Cabe señalar que tanto la exploración directa y la indirecta se realizaran dentro de la misma área destinada al estudio lo que permitirá establecer la correspondencia entre los resultados obtenidos.

Si bien en el mundo los métodos geofísicos han sido estudiados de manera extensa en países como Estados Unidos, Japón, México, Chile, España. Etc. Y son empleados en actividades de exploración para determinar la existencia de minas, yacimientos de petróleo, agua subterránea, en la construcción de túneles, represas entre otras aplicaciones. En nuestro país aún existe resistencia a su utilización debido quizás a que no se cuenta con los equipos necesarios, un conocimiento limitado de la técnica y hasta falta de destreza en el manejo de los equipos por parte del operario creando así variabilidad en los datos obtenidos, razón por la cual existe cierta incertidumbre en su aplicabilidad y son utilizados de manera principal como complemento en un estudio geotécnico. Todo esto decanta en que los profesionales opten por la utilización de métodos convencionales, como la exploración directa, dejando un poco de lado la aplicación de ensayos geofísicos que pueden constituirse en alternativas eficaces y eficientes en la investigación geotécnica, además de las ventajas que estas representan en cuanto a costo, rapidez y confiabilidad frente a métodos tradicionales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- DETERMINAR Y CORRELACIONAR LOS PARAMETROS ELASTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFISICOS Y GEOTECNICOS.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir la formación geológica de la zona de estudio.
- Realizar calicatas a cielo abierto.
- Extraer muestras de materiales alterados e inalterados
- Ejecutar líneas sísmicas de refracción.
- Determinar parámetros elásticos del subsuelo a través de métodos geotécnicos.
- Obtener los parámetros elásticos del subsuelo por medio de métodos geofísicos.
- Determinar velocidades de onda del suelo (Sísmica de Refracción).
- Analizar resultados y correlacionar los mismos.
- Emitir conclusiones y recomendaciones.

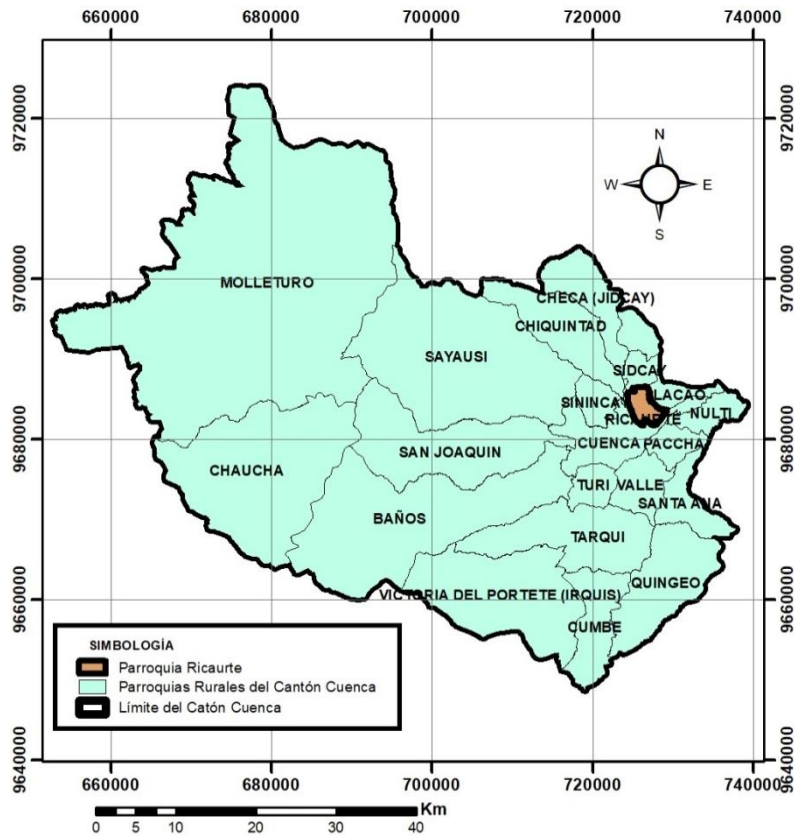
1.4 Descripción de la zona de estudio

1.4.1 Ubicación

El campus “Miracielos” de la Universidad Católica de Cuenca se encuentra en la parroquia rural de Ricaurte, ubicada al este de la ciudad de Cuenca, limita al norte con la parroquia de Sidcay, al sur y al oeste con la ciudad de Cuenca, y al este con la parroquia de Llacao. Su territorio tiene una extensión de 1379.88 Ha. Y cuenta con una población de 19361 habitantes según datos del Censo 2010 realizado por el INEC. A continuación, en la figura 1 se presenta

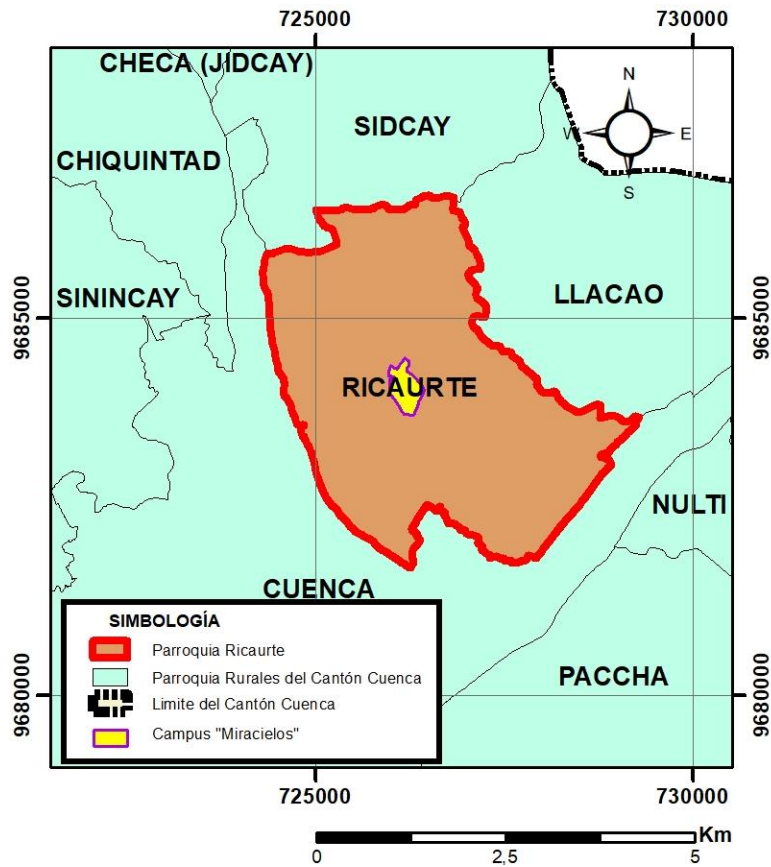
el mapa político del cantón Cuenca, en la figura 2 y 3 se indica el mapa de ubicación de la parroquia Ricaurte y la zona de estudio respectivamente.

Figura 1. Mapa Político del Cantón Cuenca.



Fuente: EL Autor.

Figura 2. Mapa de ubicación de la Parroquia Ricaurte y del Campus "Miracielos"



Fuente: El Autor

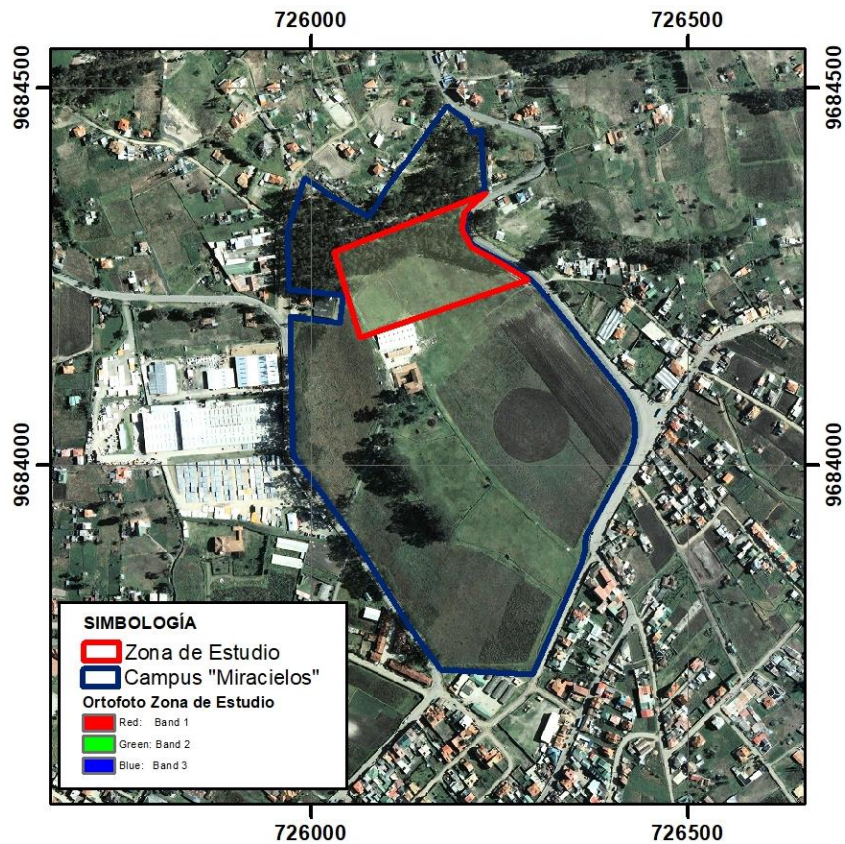
El área destinada al estudio es una porción de terreno aledaña al laboratorio de suelos, ubicado en el campus "Miracielos", cuya extensión es de 2.35 Ha. Delimitado por un polígono con las siguientes coordenadas.

Tabla 1. Cuadro de coordenadas que delimitan el área de estudio

Coordenadas WGS84		
Punto	X	Y
1	726030	9684283
2	726231	9684359
3	726203	9684336
4	726199	9684313
5	726212	9684288
6	726250	9684268
7	726287	9684245
8	726064	9684169
ZONA 17 SUR		

Fuente: El Autor

Figura 3. Ubicación de la Zona de estudio



Fuente: El Autor.

1.4.2 Clima

Cuenca por su ubicación geográfica presenta diversidad en su clima que puede variar desde el cálido hasta frío, estas modificaciones se deben principalmente a los cambios de altitud en distancias relativamente cortas, que puede ser beneficioso para la proliferación de diferentes tipos de vegetación y ecosistemas propios de la región interandina. La parroquia Ricaurte principalmente posee un clima Ecuatorial Mesotérmico Semi Húmedo, su altura está comprendida entre los 2300m.s.n.m. a 2900 m.s.n.m., temperatura media anual de 18°C a 22 °C, con un promedio de precipitación anual de 500 m (GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN CUENCA, 2015).

A causa del relieve pronunciado en Ricaurte se pueden diferenciar dos pisos climáticos que presentan las siguientes características: El primero denominado piso Templado Interandino con una temperatura que fluctúa entre los 10°C a 15 °C, corresponde a una altura que va desde los 2500m.s.n.m. hasta los 3200m.s.n.m., se puede diferenciar dos estaciones claramente marcadas, invierno con presencia de lluvias y verano con corrientes de aire cálido y seco. El segundo piso climático se encuentra comprendido por cotas de elevación que van desde los 1800m.s.n.m. hasta 2500m.s.n.m., el invierno se presenta con abundantes lluvias mientras que en verano se manifiestan corrientes de viento seco, la temperatura varía entre los 15°C A 18°C (Parra, 2016).

1.4.3 Hidrografía

1.4.3.1 Sistema hídrico

Una cuenca hidrográfica hace referencia al territorio, región o zona, delimitado por la línea de cumbres o divisoria, que recolecta las aguas lluvia que cae sobre su superficie y las escurre hacia un cuerpo hídrico común ya sea este un río, laguna o mar. Factores como la forma y el drenaje de las aguas intervienen en la formación de subcuencas, microcuencas y acuíferos que descargan las aguas hacia un afluente más grande (GAD PARROQUIAL DE RICAURTE, 2015).

1.4.3.2 Cuencas, subcuencas y microcuencas

El cantón Cuenca se ubica sobre la vertiente del Atlántico, en la cuenca media del río Paute conformado por las subcuencas de los ríos Tomebamba, Machángara, Sidcay, Yanuncay, Tarqui, Cuenca (Piedra, 2017).

Ricaurte se halla localizada en tres subcuencas que descargan sus aguas hacia el río Cuenca; la primera corresponde a la subcuenca baja del río Machángara que cubre un territorio de 377.17 Ha.; la segunda pertenece a la subcuenca del río Sidcay y se extiende en un área de 609.49 Ha. por último se encuentra el territorio perteneciente a la subcuenca del río Cuenca la cual ocupa una extensión de 378.07 Ha. (Parra, 2016).

1.4.4 Componente Geológico

1.4.4.1 Geología regional

En la transición del periodo Mesozoico al Cenozoico en la región donde se halla ubicado el Ecuador ocurrieron sendos movimientos orogénicos y epirogénicos, que dieron cabida a la formación de la cordillera de los Andes, que lo divide en tres regiones: Costa, su piso pertenece al Cretáceo Superior destacando el desarrollo silíceo de las lutitas, la base de su formación geológica está integrada por la formación Piñón y la formación Cayo. Sierra, presenta rocas metamórficas y semi-metamórficas correspondientes al Paleozoico, se ha podido además identificar evidencias de periodos geológicos como Cretácico Terciario, Cretácico Cuaternario y Carbonífero Jurásico. Oriente, conformado por calizas silíceas con areniscas calcáreas que datan su origen en el Jurásico medio a superior se diferencian formaciones tales como formación Santiago, formación Chapiza, Areniscas de Hollín y Napo, formación Tena y sedimentos Cuaternarios que completan la estratigrafía de la región Oriental (Ordoñez & Salinas, 2019).

1.4.4.2 Geología local

Entre las diferentes formas geológicas que se presentan en Ricaurte se puede identificar la presencia de rocas sedimentadas, depósitos aluviales, lutitas, andesitas, conglomerados

base y conglomerados base piro plástico. La formación geológica perteneció a la era Cenozoica a los periodos: Terciario que tuvo una duración aproximada de 1.8 millones de años. En Ricaurte las formaciones correspondientes al terciario son: Formación Azogues, Formación Llacao, Formación Mangán, Formación Turi; Cuaternario de este se tienen formaciones de depósitos coluviales y terrazas aluviales, se estima que la duración de este periodo esta entre los 2 y 1,65 millones de años hasta la actualidad (Parra, 2016).

Ricaurte presenta además la siguiente geología: Formaciones coluviales, estos depósitos de forma general se hallan principalmente en la base de laderas, están compuestos por suelos limosos y arcillosos finos y medios , se encuentran habitualmente en la zona central de la parroquia y al este, en localidades como La Merced, El Cisne, Huajibamba; Terraza antigua, esta indica presencia de materiales como arena, limos finos, gravas, se los puede ubicar en la zona suroeste en los sectores de Molinopamba, Tiopamba; Formacion Ayancay, se compone de limos finos, areniscas, tobas, lutitas, se representan al noroeste de la parroquia en los barrios de La Dolorosa, Santa María, Corazón de Jesús (Uday, 2010).

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1 Teoría de la elasticidad

El comportamiento del suelo no se manifiesta de forma lineal, sin embargo, para la aplicación de la teoría de la elasticidad se toman en cuenta las consideraciones de que la relación esfuerzo-deformación se produce de forma lineal y elástica, idéntica en un proceso de carga y descarga, sin que exista la manifestación de deformaciones permanentes. En la teoría de elasticidad más simple se considera al suelo homogéneo e isótropo, y para su evaluación principalmente se requieren de dos parámetros: el módulo de Young (E), y la relación de Poisson (Salvá, 2014)

2.2 Parámetros elásticos

2.2.1 Módulo de Elasticidad (E)

La elasticidad se produce cuando el esfuerzo depende únicamente de la deformación y la deformación únicamente del esfuerzo. Es decir el histórico de datos tanto de la deformación como del esfuerzo es inmaterial puesto que solo el valor actual de la deformación es necesario para determinar el esfuerzo (Navarro, 2019). El módulo de elasticidad o módulo de Young (E) es una propiedad de los materiales elásticos que presentan una respuesta lineal frente a la aplicación de una carga y la deformación que por esta se produce, se interpreta como una constante de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación (Rosales, 2014).

$$E_s = \frac{\sigma}{\varepsilon_e} \dots \dots \dots$$

Dónde:

E_s : Módulo de Elasticidad estático del suelo.

σ : Esfuerzo Normal.

ε_e : Deformación Elástica.

Un material se considera elástico cuando después de aplicar una carga este puede regresar a sus condiciones originales. El contenido de agua afecta el módulo de elasticidad, bajos contenidos de agua aumentan la capacidad de carga del suelo, si el contenido de agua se incrementa las partículas de suelo son empujadas y el módulo de elasticidad se reduce. Un suelo consolidado tendrá generalmente un módulo de elasticidad más alto que un suelo normalmente consolidado (Flor, 2016).

Tabla 2. *Parámetros Elásticos para varios tipos de suelo*

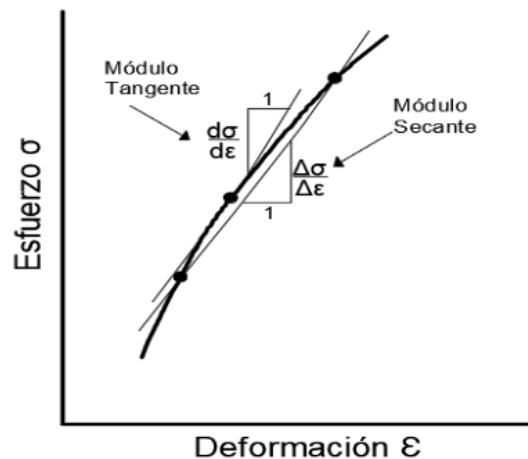
Tipo de suelo	Módulo de elasticidad, E_s (MN/m²)	Coefficiente de Poisson, μ_s
Arena suelta	10–25	0.20–0.40
Arena semi-densa	15–30	0.25–0.40
Arena densa	35–55	0.30–0.45
Arena limosa	10–20	0.20–0.40
Arena y grava	70–170	0.15–0.35
Arcilla blanda	4–20	
Arcilla media	20–40	0.20–0.50
Arcilla dura	40–100	

Fuente: (Das, 2015)

Los términos módulo tangente y módulo secante son generalmente utilizados para realizar el cálculo del módulo elástico a partir de las gráficas esfuerzo-deformación no lineal.

- **Módulo tangente.** Es la pendiente de una recta trazada tangente a una curva esfuerzo-deformación en un punto, el valor obtenido del módulo de elasticidad dependerá de la ubicación del punto desde el cual se trace la tangente, si este se localiza en el origen de la curva esta se denominará módulo tangente inicial (Lambe & Whitman, 2004).
- **Módulo secante.** Es la pendiente que corta en dos puntos la curva esfuerzo-deformación, el valor del módulo de elasticidad variará dependiendo de la posición de los puntos, si estos coinciden el valor del módulo secante como el del módulo tangente será el mismo (Lambe & Whitman, 2004). En la figura 4 se indican los métodos gráficos para la determinación del módulo de elasticidad.

Figura 4. *Modulo Tangente y secante en la gráfica esfuerzo-deformación*



Fuente: (Lambe & Whitman, 2004)

2.2.2 Relación de Poisson (μ)

La relación de Poisson (μ) es una propiedad elástica de los materiales, al aplicar un esfuerzo y comprimir un material se producen deformaciones verticales y contracciones o alargamientos laterales, es el resultado del cociente de deformación lateral entre la deformación vertical. Generalmente se toman valores de entre 0.2 y 0.4 en la aplicación de

la mecánica de suelos, para suelos saturados por conveniencia se adopta 0.5 y un valor de 0.2 para suelos secos u otros (Bowles, 1978).

Está definida como:

$$\mu = \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_1}$$

μ : Relación de Poisson.

ε_1 : Deformación unitaria colineal con el esfuerzo de interés.

ε_3 : Deformación unitaria ortogonal al esfuerzo de interés.

Los valores correspondientes a la relación de Poisson son de difícil determinación en los suelos, esto se debe a que obtener la deformación lateral de una muestra a una aplicación de esfuerzo es particularmente complicado. Sin embargo, si se hace la suposición de que los módulos de esfuerzo-deformación son lineales en intervalos de deformación pequeños entre dos puntos, se podría utilizar los datos de la curva esfuerzo-deformación de los ensayos triaxiales para obtener el valor de μ (Bowles, 1978).

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E_s} (\Delta\sigma_1 - 2\mu\sigma_3)$$

Dónde:

E_s : Modulo de elasticidad del suelo

μ : Coeficiente de Poisson

ε_1 : Deformación unitaria colineal con el esfuerzo de interés

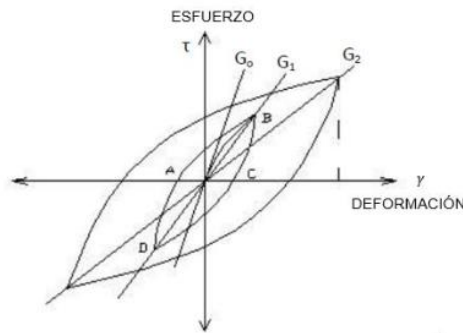
$\Delta\sigma_1$: Variación del esfuerzo de interés

σ_3 : Esfuerzo en el plano ortogonal

2.2.3 Módulo de rigidez a corte (G)

El módulo de rigidez a corte (G) es una propiedad importante dentro del análisis dinámico de los suelos, es un parámetro directo y representativo en el cálculo de esfuerzos y deformaciones que este experimenta. El suelo presenta un comportamiento no lineal entre esfuerzos y deformaciones a esta relación curvilínea se la conoce como “Ciclo de histéresis esfuerzo-deformación del material”, figura 5, y se describe como la pendiente de la secante que une dos puntos extremos del ciclo, G1 y G2 (Según Bran et. al., 2009, como se citó en Araca & Gómez, 2019).

Figura 5. Ciclo de Histéresis esfuerzo-deformación del suelo



Fuente: (Según Bran et. al., 2009, como se citó en Aranca & Gómez, 2019)

El módulo de rigidez a corte está definido por la siguiente expresión:

$$G = \frac{\Delta\tau}{\Delta\gamma}$$

Dónde:

τ : Esfuerzo cortante Unitario

γ : Deformación cortante.

En el caso de que las deformaciones sean muy pequeñas la relación anterior se expresa como la pendiente de la tangente a la curva esfuerzo-deformación se localizara en el origen razón por la que se la conoce como, módulo de rigidez inicial (G_0) o módulo de rigidez máximo (G_{MAX}), ya que muestra además como característica el valor más elevado del módulo en el rango lineal-elástico del suelo (Según Bran et. al., 2009, como se citó en Aranca & Gómez, 2019).

2.2.4 Coeficiente de balasto (k_s)

El módulo de reacción o coeficiente de balasto está relacionado a la rigidez de los suelos, en la ingeniería su uso práctico está encaminado al entendimiento de la interacción de cimentación y suelo, se entiende como el cociente entre la el esfuerzo de contacto producido en el suelo y la deformación que en la práctica es un asentamiento (Cabral & Holguin, 2014).

$$k_s = \frac{q}{\delta}$$

Dónde:

k_s : Coeficiente de balasto

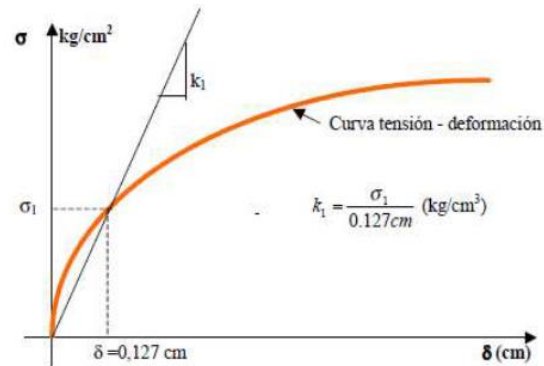
q : Esfuerzo de contacto

δ : Asentamiento

Este parámetro toma el nombre de balasto debido a que fue empleado por primera vez en el análisis de reparto de cargas en las vías de ferrocarril donde el material granular

sobre el cual se colocaban los transversales se denominaba balasto. Es conocido también como método de cimentaciones Winkler (Cortés, 2010).

Figura 6. Coeficiente de Balasto



Fuente: (Cabral & Holguin, 2014)

Este parámetro también es conocido por otros autores como el coeficiente de reacción de la subrasante. Se lo concibe no como una constante propia del suelo, sino más bien como un valor en el cual intervienen una serie de factores entre los que destacan las dimensiones y profundidad de las cimentaciones. Generalmente para su determinación en campo se utiliza el ensayo de placa de carga, que consiste en aplicar cargas a placas cuadradas de 0.3 m de ancho por 0.3 m de longitud, que producirán asentamientos en el suelo y permitirá calcular el valor de k (Das, 2012). Ver figura 6.

Se puede hallar para fines prácticos mediante la ecuación:

$$k = \frac{E_s}{B(1 - \mu_s^2)}$$

Dónde:

k : Coeficiente de Balasto o módulo de reacción de la subrasante

E_s : Modulo de elasticidad del suelo

μ_s : Relación de Poisson del suelo

B: Base de la cimentación

Tabla 3. Valores comunes de la reacción de la subrasante, $k_{0,3}$

Tipo de suelo	$k_{0,3} (k_1)$ MN/m ³
Arena seca o húmeda	
Suelta	8-25
Media	25-125
Densa	125-375
Arena saturada:	
Suelta	10-15
Media	35-40
Densa	130-150
Arcilla:	
Rígida	10-25
Muy rígida	25-50
Dura	>50

Fuente: (Das, 2012)

2.3 Estudio geotécnico.

Actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de las estructuras (superestructuras y subestructuras) para edificaciones, puentes, torres, silos y demás obras, que preserve la vida humana, así como también evite la afectación o daño a construcciones vecinas (NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2015, pág. 14).

2.4 Métodos de exploración

Para la exploración de campo en el Ecuador la NEC en su apartado de Geotecnia y cimentaciones NEC-SE-GC, establece los métodos permitidos para la exploración del subsuelo ya sean estos por exploración directa o exploración indirecta y se detallan a continuación:

2.4.1 Exploración Directa

La exploración del terreno proporciona datos acerca de las condiciones que predominan en el subsuelo, además suministran muestras utilizadas para clasificación, inspección y para pruebas o ensayos de laboratorio que permita determinar sus características. En la ingeniería son muy pocos los trabajos que no necesiten de una exploración del suelo al momento de emplazar una obra (Bowles, 1978).

Un programa correcto de exploración del terreno debe contar con información relevante de las condiciones del sector esta puede ser obtenida por medio de mapas topográficos, fotografías aéreas, inspecciones del lugar. Incluirá además perforaciones que ayuden a determinar estratigrafía y obtener muestras alteradas y/o inalteradas para realizar ensayos de laboratorio, toda esta información debería dotar de capacidad al ingeniero geotécnico a: Determinar el origen y naturaleza de los depósitos, determinar la profundidad de los estratos que conforman el perfil del suelo, hallar la ubicación de depósitos de roca, la ubicación del nivel freático y obtener la cantidad y tipo de muestras requerido para determinar las propiedades del suelo para realizar un diseño adecuado (Bowles, 1978).

2.4.1.1 Calicatas o trincheras

Se denominan calicatas, zanjas o trincheras a las excavaciones que se realizan en el terreno ya sean estas de forma manual o mediante maquinaria con la finalidad de observar el terreno, extraer material para ensayos de laboratorio o realizar pruebas *In situ* y determinar las propiedades del suelo (Macedo, 2018).

Es el método más satisfactorio empleado para conocer las condiciones del subsuelo las excavaciones realizadas, manuales o con maquinaria, pueden tener dimensiones de entre 1.5 a 2.0 m de diámetro en el caso de ser de forma circular y de 1.5 a 2.0 m de lado si tienen forma rectangular, con la finalidad de facilitar el acceso al descender por ellas a examinar los estratos del suelo y el desarrollo de pruebas *In situ* (López & Mejía, 2008).

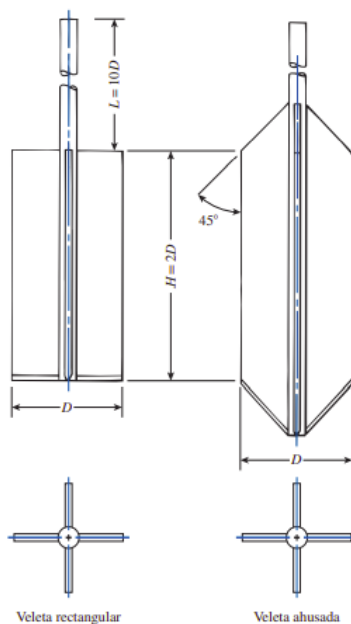
2.4.1.2 Veletas

El ensayo de corte con veleta consiste en colocar una veleta dentro del suelo inalterado, está compuesta de un conjunto de cuatro paletas y una barra, como lo indica la figura 7, al girarla permitirá determinar el momento de torsión necesario para cortar la superficie cilíndrica del suelo en contacto. El torque producido se traduce como la resistencia unitaria al corte de la superficie (Herrera & Niño, 2015). La veleta para prueba de corte puede ser de forma rectangular o puntiaguda su altura, H , debe ser equivalente a dos veces su diámetro, D . Al ser hincada en el suelo de fondo sin alterar de una excavación, el momento de torsión aplicado a la barra en su parte superior debe provocar un giro en las veletas a una velocidad estándar de $0.1^\circ/s$ (Das, 2012).

Este método se utiliza para determinar la resistencia al corte de suelos arcillosos y limosos en condición no drenada con resistencias que no alcancen los 200 kPa. No debe ser

aplicado en suelos de alta permeabilidad, arenas, gravas, ya que este tipo de suelos permiten un drenaje parcial o total. Es recomendable que previo al ensayo con este método se realicen muestreos que permitan entender las condiciones de permeabilidad que presenta el terreno (Herrera & Niño, 2015).

Figura 7. Geometría de la veleta de campo



Fuente: (Según la ASTM, 2001, como se citó en Das, 2012)

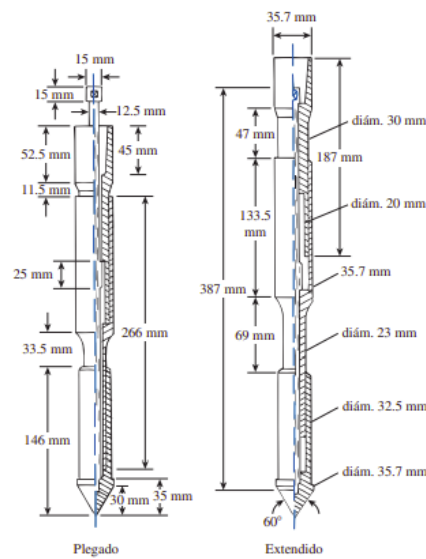
Las pruebas con veleta de corte son considerablemente rápidas y económicas, entregan resultados confiables principalmente al ser realizado en suelos arcillosos suaves y medio compactos, pero se debe tener principal consideración al momento de la calibración del par de torsión y la velocidad de rotación, debido a que una mala selección de estos parámetros podría causar errores y daño en la veleta (Das, 2012).

2.4.1.3 Cono estático CPT

El ensayo de penetración estático de cono (CPT), o prueba de penetración con cono holandés, como fue conocido originalmente, permite determinar las propiedades ingenieriles

del suelo, resistencia de punta de cono (q_c), resistencia por fricción (f_c), además de una descripción de su estratigrafía (Das, 2012). Su fundamento se desarrolla penetrando la punta del cono sobre el suelo a una velocidad constante de 20 mm/s y medir la resistencia que presenta el suelo a la penetración en rangos de área que van desde los 10 cm² hasta 40 cm² dependiendo de la geometría del cono, figura 8, y el material sobre el cual se desarrolle el ensayo (Casanova, 2018).

Figura 8. Penetrometro de cono de fricción mecánico



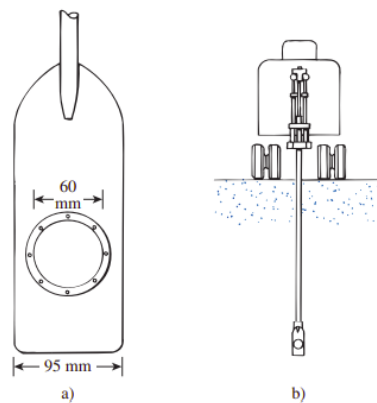
Fuente: (Según ASTM, 2001, como se citó en Das, 2012)

2.4.1.4 Dilatómetro

La prueba del dilatómetro o DMT, es un ensayo de carga lateral capaz de proporcionar información relevante acerca de la rigidez del suelo, a partir de características de ruptura, registrada con información acerca de la resistencia a la falla del suelo, información que por otras pruebas de penetración no se puede recolectar. Está conformado por una paleta de acero inoxidable, una membrana de acero expandible montada sobre una de las superficies, figura 9, se halla conectada a una manguera electro-neumática controlada por la válvula que regula la presión de gas (nitrógeno) en carga y descarga, generalmente se penetra el suelo a una

velocidad de 10 a 30 mm/s realizando paradas cada 20 cm (Bertoli, 2017). Los resultados obtenidos mediante el ensayo DMT se utiliza para hallar tres parámetros: Índice de materia (I_D), Índice de esfuerzo horizontal (K_D), Modulo de dilatómetro (E_D), por medio de dos lecturas de presión: Presión A requerida para desplegar la membrana, Presión B la membrana se expande 1.1 mm hacia el suelo (Das, 2012).

Figura 9. a) Diagrama esquemático de un dilatómetro de placa plana; b) sonda de dilatómetro insertada en el terreno



Fuente: (Das, 2012)

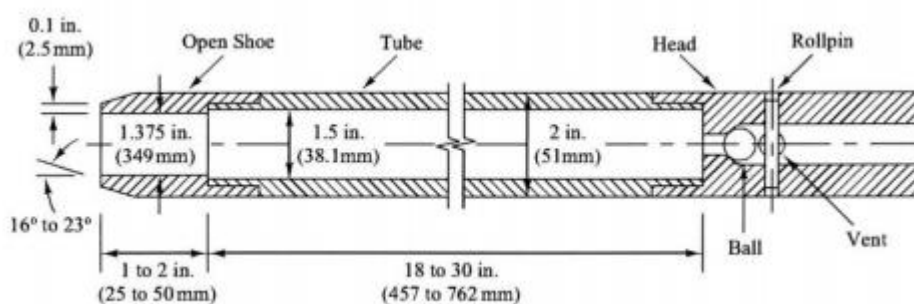
2.4.1.5 Ensayo de Penetración Estándar SPT

El método conocido como ensayo de penetración estándar, SPT (Standard Penetration Test) por sus siglas en inglés, es un método convencional utilizado para determinar las propiedades ingenieriles del suelo. Consiste básicamente en la penetración dinámica de un elemento captor, conocido también cuchara partida, el cual recolectara muestras alteradas representativas del suelo que se desea estudiar (Aponte, 2011). En la figura 10 se muestra un detalle de la cuchara partida utilizada en el ensayo SPT.

Esta prueba se desarrolla penetrando a golpes la cuchara partida de 45 cm, la energía necesaria para hincar él toma muestras es producida por una pesa o martillo de 140 lb el cual se deja caer libremente desde una altura de 76 cm (Velásquez, 2015). La finalidad del ensayo

es determinar el número de golpes que se necesita para introducir la cuchara partida 45 cm en tres intervalos de 15 cm, registrando el número de golpes para penetra los 30 cm finales (Aponte, 2011).

Figura 10. *Detalle cuchara partida ASTM D-1586*



Fuente: (Velásquez, 2015)

Si el número de golpes empleado para hincar la cuchara 15 cm es mayor a 50 o se presenta el caso que no avanzara después de realizados 10 golpes se considerara como rechazo. El valor de la resistencia (N), número de golpes para introducir él toma muestras en los dos intervalos finales, debe ser corregido a un valor de 60 % de la energía aplicada (Aponte, 2011).

$$(N_1)_{60} = N_m \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S$$

Dónde:

$(N_1)_{60}$: Resistencia corregida

N_m : Resistencia de penetración media en el ensayo

C_N : Presión de sobrecarga

C_E : Relación de energía

C_B: Diámetro de perforación

C_R: Longitud de varillaje

C_S: Tipo de muestreador

2.4.2 Exploración Indirecta

La prospección geofísica son métodos de investigación indirecta que tratan determinar sus características del terreno, a través de la obtención de parámetros físicos mediante correlaciones de sus propiedades geológicas. Existen varias metodologías que permiten la determinación de estos parámetros: Método magnético, permeabilidad magnética; Método sísmico, variación de ondas sísmicas; Método eléctrico, resistividad y conductividad eléctrica; Método radiactivo, emisión de radiación natural; Método gravimétrico, susceptibilidad magnética (Linares, et al, 2002).

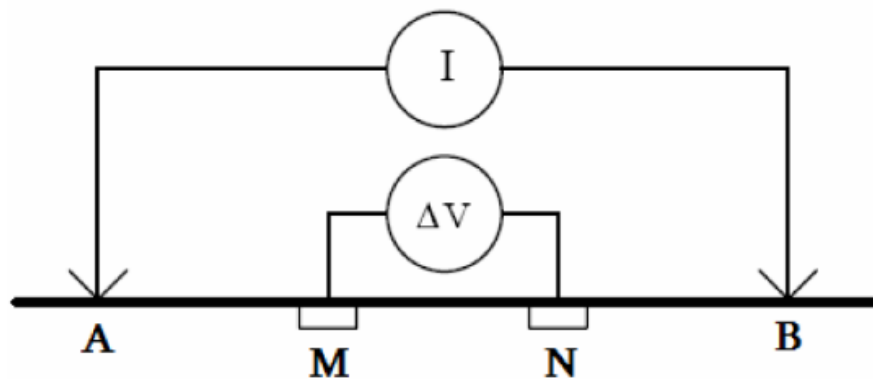
2.4.2.1 Sondeos eléctricos verticales

Los métodos geoelectricos no son de reciente introducción, aparecieron a inicios del siglo XX, aunque su verdadero desarrollo no llego sino hasta el año de 1970 con la aparición de las computadoras que permitieron un tratamiento de datos con mayor celeridad y en mayor volumen. Son parte de la prospección geofísica emplean la energía potencial, para medir corriente y campos electromagnéticos que pueden ser de generación natural en el planeta o reproducidos de forma artificial, mediante estos se permite reconocer la formación de los estratos y la profundidad a la que se hallan, así como la presencia de agua subterránea (Peña, 2015).

Los sondeos eléctricos verticales SEV, buscan determinar las variaciones geoelectricas del subsuelo de forma vertical y así identificar la profundidad de localización

de los diferentes estratos a partir de su resistividad característica. Se coloca un arreglo de cuatro electrodos, figura 11, dos de generación de corriente y dos de recepción que miden la diferencia del potencial, estos registran el valor de la resistividad aparente que corresponde a una determinada profundidad dependiendo del arreglo utilizado y la distancia de separación entre los electrodos, se obtendrá mayor profundidad de penetración del sondeo cuando la distancia entre electrodos aumenta (Peña, 2015).

Figura 11. Esquema para arreglo de electrodos ensayo SEV



Fuente: (Peña, 2015)

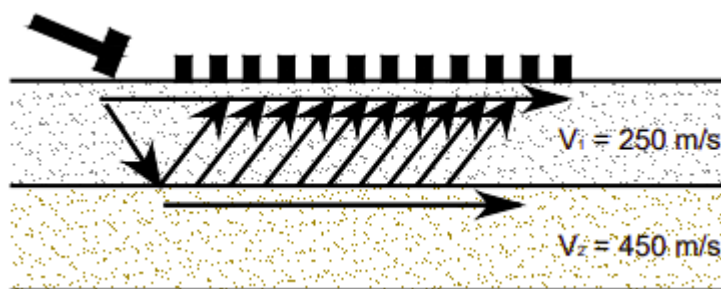
La mayor eficiencia del método trata de encontrar un modelo de terreno compuesto por capas horizontales, paralelas, análogas a las curvas de resistividad y el patrón de capas laterales homogéneas geológicas del terreno, a este modelo se lo identifica generalmente como corte geoelectrico (Mendoza, 2019).

La ejecución del método SEV variara en cuanto a la configuración de los electrodos, separación y los dispositivos que se vayan a emplear entre estos se puede diferenciar: Dispositivo Wenner; Dispositivo Schlumberger; Dispositivo Dipolo-Dipolo, Dispositivo Polo-Polo, Dispositivo Polo-Dipolo (Peña, 2015).

2.4.2.2 Sísmica de refracción

Los métodos geofísicos de refracción y reflexión sísmica tienen como objeto medir el tiempo en que las ondas elásticas se propagan a través del suelo desde el punto donde son generadas, por medio de un martinete o por explosivos, hacia diferentes receptores o sensores colocados en línea recta separados distancias iguales y conocidas a este tipo de arreglo se lo conoce línea de refracción o reflexión sísmica (Aponte, 2011). La figura 12 indica de forma simplificada un esquema del ensayo de sísmica de refracción.

Figura 12. Esquema de ensayo de refracción y reflexión sísmica



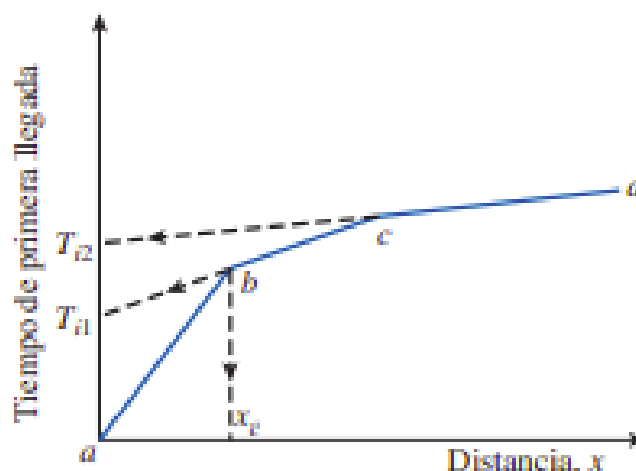
Fuente: (Aponte, 2011)

Se conoce como sísmica de refracción al fenómeno en el cual las ondas P, ondas longitudinales o de compresión, viajan a través del suelo a diferentes velocidades entre estratos de mayor o menor potencia y estas se dividen, ondas S o de corte, modificando su trayectoria a este efecto se lo conoce como refracción (Velásquez, 2015).

El equipo utilizado está formado por: la unidad de adquisición, almacena y registra los movimientos que se producen en el suelo; sensores, detecta la información de movimientos que se produzcan en el terreno; cables de conexión, transmiten la información recolectada por los sensores hacia la unidad de adquisición; cable trigger, toma el inicio del evento que produce las ondas. Cada movimiento que se produce en el terreno es registrado en función del tiempo, a esta información se la conoce como sismogramas, figura 13. Es

importante señalar que un factor que puede llegar a afectar los resultados obtenidos con este ensayo son los ruidos ambientales, ya que estos intervienen en la identificación y llegada de las señales razón por la cual en investigaciones realizadas en zonas urbanas su uso es limitado (Aponte, 2011).

Figura 13. Sismograma sondeo por refracción sísmica



Fuente: (Das, 2012)

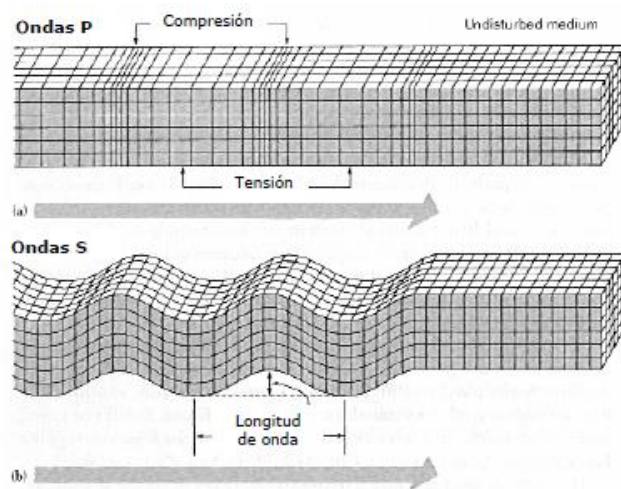
Dependiendo de la fuente de vibración que utilicen los métodos de sismica de refracción se pueden dividir en pasivos o activos, siendo denominados como activos a aquellos que requieren de una fuente generadora externa de vibración, y los pasivos a aquellos cuya fuente generadora de vibración o ruido son medioambientales o culturales. Además, pueden ser clasificados como; invasivo, cuando es necesario colocar a profundidad dentro del suelo los instrumentos de medición los más conocido y empleados son los ensayos downhole y crosshole; no invasivos, aquellos que permiten instalar los instrumentos de medición en la superficie sin necesidad de recurrir a excavaciones para ser realizados dentro de estos se encuentran principalmente los ensayos SASW, MASW y ReMI (Correia, 2015).

2.4.2.2.1 Tipos de ondas elásticas

Las ondas elásticas se pueden dividir en dos grupos principales las ondas de cuerpo y las de superficie. A su vez las ondas de cuerpo se clasifican como: Ondas de compresión o primarias (P) y la velocidad a la que se propagan se designa (V_p); y las ondas de corte o secundarias, a la velocidad a la que se propagan se denomina (V_s). En suelos y rocas las ondas (P) viajan a velocidades entre 70% y 140 % mayores a las (V_s) (Aponte, 2011). Ver figura 14.

Las ondas superficiales poseen una forma de elipse vertical paralelas en la dirección de propagación se dividen en ondas Love (L) y Rayleigh (R). La velocidad a la que se desplazan las ondas Rayleigh (V_r) es aproximadamente el 93 % de la velocidad de las ondas de corte (V_s), y representan el 67 % de la energía aplicada que se propaga como onda (Aponte, 2011).

Figura 14. Ondas Primarias o de compresión (P) y ondas secundarias o de corte (S)



Fuente: (Lazcano, 2007)

2.4.2.2 Principios de la sismica de (Huyghens, Fermat y Snell)

“El movimiento ondulatorio está regido por los principios fundamentales de: Huyghens, todo frente de onda se comporta como un nuevo centro generador de onda; y el

de Fermat el, movimiento ondulatorio entre dos puntos sigue la trayectoria de tiempo mínimo” (Alvarez, 2003, pág. 41).

La ley de refracción o también conocida como la ley de Snell se basa en los principios de Huyghens y Fermat para considerar que cuando un frente de onda halla una discontinuidad entre dos medios de diferentes propiedades elásticas, parte de la energía del rayo se refleja y permanece en el medio inicial, y otra parte restante se transfiere a otro medio con un cambio de dirección. Si se considera que un frente de onda AB incide en un medio con velocidades V_1 y V_2 , la onda es refractada formando un frente curvo en dirección A`B` tomando en cuenta los ángulos de incidencia y refracción, se verifica la siguiente expresión (Herrera, 2013).

$$\frac{\sin \theta_1}{V_1} = \frac{\sin \theta_2}{V_2}$$

Dónde:

V_1 : Velocidad de transmisión de la onda en el medio superior

V_2 : Velocidad de transmisión de la onda en el medio inferior

θ_1 : Angulo de incidencia

θ_2 : Angulo de refracción

2.4.2.3 Parámetros elásticos y mecánicos del suelo mediante refracción sísmica

Cuando se produce una perturbación ya sea en el interior o en la superficie de la corteza terrestre, esta vibración es transmitida a cada punto de espesor del medio a través de las ondas elásticas (P) y (S), y estas dependen de los parámetros elásticos del suelo (Alvarez,

2003). A continuación, se describen la obtención de cuatro parámetros elásticos del suelo a partir de las velocidades de onda (V_p) y (V_s).

a) Relación de Poisson (μ)

$$\mu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

b) Módulo de Young (E)

$$E = 2G(1 + \mu)$$

c) Módulo de Rigidez (G)

$$G = \rho V_s^2$$

d) Módulo de Bulk (K)

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)}$$

Tabla 4. Varios parámetros elásticos a partir de V_p y V_s

Parámetro	Formulación
Módulo de Corte	$G = \gamma \frac{V_s^2}{g}$
Módulo de Elasticidad	$E = k_s H$ $E = 2(1 + \nu)G$
Módulo Edométrico	$E_c = \frac{\alpha E}{2(3\alpha - 4)}$
Módulo de Bulk	$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$
Coefficiente de Poisson	$\nu = (\alpha - 2)/2(\alpha - 1)$ $\alpha = (V_p/V_s)^2$
Coefficiente de Subrasante (Coefficiente de Balasto)	$k_s = 4\gamma V_s$ $k_s = 40q_f$
Capacidad Portante	$q_a = q_f/n$ $q_f = 0.1\gamma V_s$

Fuente: (Tezcan, Ozdemir, & Keceli, 2009)

Dónde:

γ : Peso volumétrico

H: Profundidad de cimentación

G: Módulo de corte

E: Módulo de elasticidad

E_c : Módulo edométrico

K: Módulo de Bulk

μ : Coeficiente de Poisson

k_s : Coeficiente de subrasante (Coeficiente de Balasto)

q_f : Capacidad de carga máxima

q_a : Capacidad de carga admisible

n : Factor de seguridad

g : Gravedad

V_p : Velocidad de onda primaria

V_s : Velocidad de onda secundaria

A través de la sísmica de refracción se han generado correlaciones empíricas obtenidas a partir de las velocidades de onda, (V_p) y (V_s), de donde se pueden determinar parámetros mecánicos tales como el ángulo de fricción interna del suelo (φ) y la cohesión (c) (Pazmiño, 2017). Su cálculo se expresa de la siguiente manera:

$$c = 0.0508 - 0.0167 \frac{V_p}{V_s}$$

$$\varphi = 0.7792 \frac{V_p}{V_s} + 26.529$$

Dónde:

c : Cohesión (kg/cm^2)

φ : Ángulo de fricción interna del suelo (grados)

2.4.2.4 Análisis espectral de ondas superficiales

Las ondas superficiales al propagarse a través de la Tierra lo hacen a menor velocidad que las ondas P, pueden ser generadas de forma natural o artificial y su movimiento se

presenta principalmente en la parte superior de la corteza terrestre, se clasifican en dos tipos fundamentales: Ondas Love u L, las cuales se caracterizan por su movimiento transversal a la dirección en que se propaga la onda; Ondas Rayleigh u ondas R, su movimiento es similar a la propagación de las ondas en el agua a lo largo de la superficie terrestre, son provocadas por la interferencia generada entre las ondas P y S, caracterizándose por ser de baja frecuencia, velocidad y gran amplitud (Suárez, 2017).

El Análisis Espectral de Ondas Superficiales o SASW, por sus siglas en inglés, busca determinar las velocidades asociadas a las ondas superficiales por medio de un análisis del espectro de señales, distribución de energía y fases en las frecuencias de onda mediante algoritmos basados de la transformada de Fourier, es un método no intrusivo que determina la velocidad de onda de corte que se genera por una fuente impulsiva y es registrado por dos geófonos de forma simultánea colocados en dos lugares diferentes equidistantes a la fuente o variando su distancia dependiendo del arreglo que se vaya a usar (Ochoa, 2007).

El método está formado por tres etapas: Adquisición de datos según la metodología que se utilizara podrían ser arreglos simétrico o de fuente común; Obtención de curvas de dispersión se realiza por medio de los registros de los geófonos para el cálculo de las velocidades de onda Rayleigh; Problema inverso, hace referencia al análisis del espectro de las ondas por medio de una curva teórica de dispersión cotejada con la curva de dispersión obtenida de los datos del terreno (Ochoa, 2007).

2.4.2.5 Análisis multicanal de ondas superficiales

El ensayo de Análisis multicanal de onda superficial MASW nace a partir de superar los inconvenientes que se producen con la inclusión de ruido al realizar las pruebas SASW,

al ser realizadas estas con solamente un par receptores tantas veces como sea necesarias con el fin de probar y obtener las frecuencias deseadas, lo que se traduce en múltiples aplicaciones de disparos repetidos para determinar las características del sitio en estudio aumentando así el tiempo y mano de obra necesaria para realizar estas pruebas. Los ensayos MASW consisten básicamente en la determinación de ondas superficiales, Rayleigh, de baja frecuencia entre los 3 y 30 Hz los cuales serán registrados por 12 o más receptores o geófonos colocados de forma lineal separados unos de otros distancias iguales y conocidas (Suárez, 2017).

El método MASW es un método sísmico que permite la evaluación de las condiciones elásticas del suelo, permite la medición de ondas superficiales generadas a través de fuentes activas, fuentes sísmicas vibratorias o pasivas, de generación natural o cultural. Con la finalidad de obtener y analizar las velocidades de propagación de ondas superficiales para deducir variaciones de la velocidad de ondas de corte (V_s) en los diferentes estratos del subsuelo. El estudio con fuente activa es generalmente el de uso más ampliado, de este se puede obtener análisis de alta confiabilidad a profundidades de entre 10 a 30 m tomando en cuenta variables como: el tipo de fuentes activas; y la topografía de la zona de estudio ya que realizar estos ensayos en superficies que tengan pendientes superiores al 10 % se convertiría en un inconveniente en la calidad de los datos de onda superficial registrados (Correia, 2015).

El procedimiento para la caracterización geotécnica por el método MASW se realiza en tres pasos: 1. Observación y adquisición de datos; 2. Determinación de la curva de dispersión; 3. Inversión de la curva de dispersión y estimación del perfil de velocidades de ondas de corte (V_s) (Villilli, 2018).

La adquisición de los datos se realiza por medio de 12 o más receptores a una frecuencia de 4.5 Hz, y una fuente de generación que consta de un martillo de 3.6 kg a 9.0 kg, que impacta un plato metálico que generaran las señales sísmicas. La información recolectada con el equipo se utiliza para la construcción de la curva de dispersión fase-frecuencia, se obtiene de transformar el registro del dominio $p - \tau$, velocidad – Tiempo de intercepción, mediante la transformada unidimensional de Fourier al dominio $p - f$, siendo f la frecuencia, manteniendo inafectado el eje de velocidad. Por último, el perfil de ondas de corte (V_s) se obtiene mediante un proceso de inversión de datos de la curva de dispersión (Villilli, 2018).

2.4.2.6 ReMi

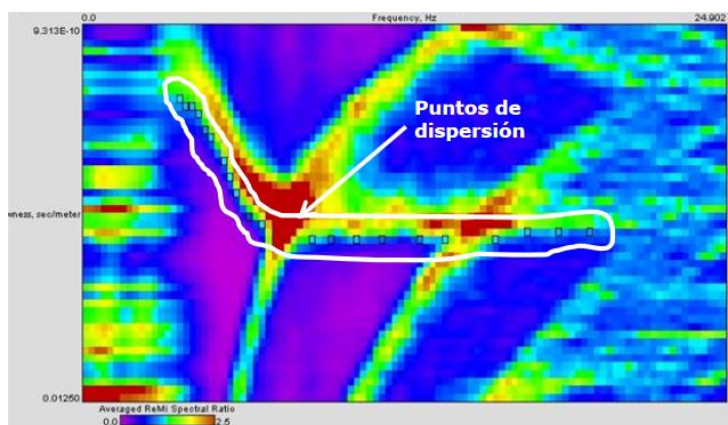
Se conoce a los microtremores como vibraciones existentes en la superficie terrestre pueden ser de origen natural como el oleaje, viento, actividad volcánica, etc., o de generación artificial como los producidos por actividades humanas tráfico vehicular, maquinaria industrial, entre otros, principalmente están compuestos de ondas superficiales, tipo Rayleigh o tipo Love, característica que permite identificar las diferentes estructuras geológicas que puede mostrar el suelo (Canqui, 2013).

El ensayo de refracción por microtremores ReMi fue propuesto por Louie en 2001, se utiliza un arreglo similar al de sísmica de refracción con 12 geófonos, cada uno en un canal, para marcar la dispersión de ondas superficiales centrándose de manera especial en las ondas Rayleigh de donde se realizará una inversión de las curvas de dispersión y así determinar las velocidades de corte en los primeros 30 m (V_{s30}). La profundidad del ensayo dependerá del espaciamiento entre los geófonos que normalmente puede ir entre 1m hasta

los 10 m a una frecuencia de 4,5 Hz si lo que se desea es obtener alta resolución y mayor profundidad (Castrechini, 2019).

El análisis espectral de velocidad se encuentra fundamentado en la transformada p - τ o slantstack, toma una sección del registro de los sismógrafos con amplitudes relativas a la distancia y el tiempo (x - t), y las convierte a amplitudes relativas al parámetro de rayo p , inversa de la velocidad aparente, y un tiempo de intercepción τ (Louie, 2001). Ver figura 15.

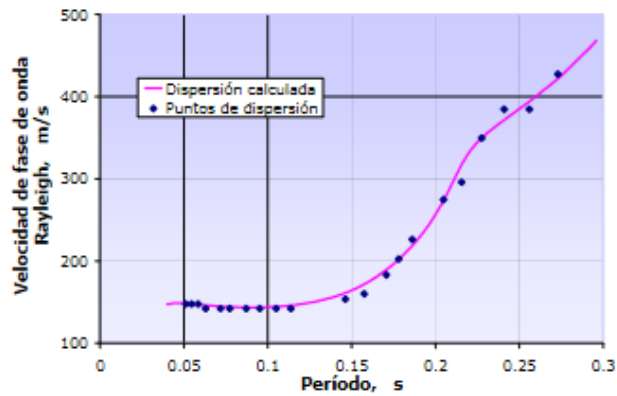
Figura 15. Espectro de velocidad (frecuencia-tardanza) mediante técnica ReMi



Fuente: (Lazcano, 2007)

Como siguiente paso se calcula la transformada de Fourier en el tiempo de intercepción τ , y lleva cada registro del plano p - τ , al plano p - f , figura 16, conocido como inverso de velocidad, a partir de este análisis se obtiene la información de energía espectral total a través del rastro lineal de todos los registros de tiempos de intercepción en un solo valor de velocidad. A partir del espectro p - f es posible identificar tendencias dentro del gráfico donde una fase coherente de ondas Rayleigh marque una tendencia que pueda generar la curva de dispersión del subsuelo que sirven para el posterior análisis de inversión (Louie, 2001).

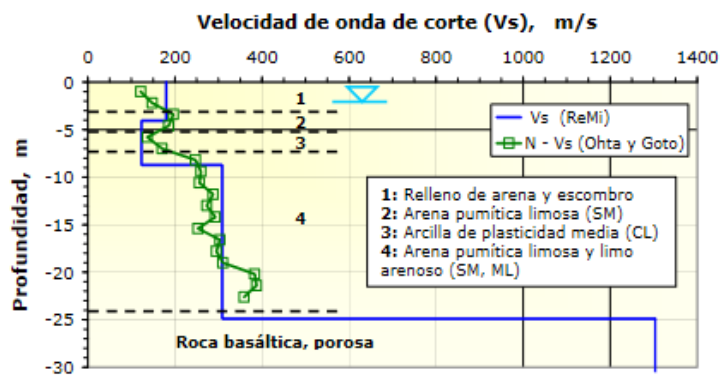
Figura 16. Grafica periodo-velocidad de fase de onda Rayleigh, método ReMi



Fuente: (Lazcano, 2007)

Finalmente se determina la gráfica de periodos contra velocidad de fase de onda Rayleigh, por medio de la inversión del espectro $p-f$, donde la curva pasa de ser descendente a ascendente. A través de la curva de dispersión obtenida de la gráfica periodo-velocidad se pueden determinar los espesores de estratos y la velocidad de corte (V_s) (Lazcano, 2007). Como se puede apreciar en la figura 17.

Figura 17. Perfil unidimensional de velocidad de onda de corte (V_s) contra profundidad



Fuente: (Lazcano, 2007)

2.5 Clasificación de suelos SUCS

Dado que los suelos se presentan en la naturaleza de forma muy variada, la mecánica de suelos ha desarrollado sistemas de clasificación descriptivos que permitan cubrir con

información referente a las propiedades mecánicas que lo componen, siendo fundamental este conocimiento para su aplicación en la ingeniería. En un principio los métodos basados en características granulométricas fueron aquellos que ganaron mayor popularidad y campo de aplicación. Fue A. Casagrande quien fundamentó los criterios de un sistema que adoptó el cuerpo de ingenieros de Estados Unidos de América en 1942, al que se lo denominó “Sistema de Clasificación de Aeropuertos” debido a que principalmente era utilizado en la construcción de aeropista (Juárez & Rico, 2005). Actualmente el más utilizado es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS, está basado en el análisis granulométrico y los límites de Atterberg, Líquido y plástico, similar al de Aeropuertos con leves modificaciones y fue incluido por la American Society for Testing Material, como método normalizado ASTM-D 2487 (Pincay, 2020). Ver figura 18.

Los suelos son diferenciados en dos grupos, gruesos y finos, a partir del cribado con una malla N° 200. Si más del 50% del material es retenido en la malla este se considera grueso, caso contrario el suelo es fino. Existe además una subdivisión dentro de los suelos gruesos identificados por los prefijos: G (grava) y S (arena). Esta clasificación se realiza con referencia al material retenido en el tamiz N° 4, de tal forma que si más del 50 % de la fracción gruesa retenida por el tamiz N° 200 pasa la malla N° 4 se trata de una arena, caso contrario es una grava (Juárez & Rico, 2005).

Tanto las arenas como las gravas se subdividen en cuatro grupos: 1. Material prácticamente limpio bien graduado se coloca la letra W (well graded) en combinación con la letra perteneciente al grupo de arena o grava obteniendo el símbolo SW y GW; 2. Material prácticamente limpio mal graduado se añade la letra P (poorly graded) junto a la letra correspondiente al grupo arena o grava resultando en el símbolo SP y GP; 3. Material con

una cantidad apreciable de finos no plásticos se identifica con la letra M (del sueco mo y mjala) se obtiene el símbolo SM y GM ya sea para arena o grava; 4. Material con cantidad apreciable de finos plásticos se coloca la letra C (clay) su simbología queda definida tanto para arenas como para gravas como SC y GC (Juárez & Rico, 2005).

En el caso de los suelos finos se clasifican en: Limos inorgánicos M (del sueco mo y mjala); Arcillas inorgánicas C (clay); limos y arcillas orgánicas O (organic). Dependiendo del límite líquido se pueden dividir en: Suelos de baja o media compresibilidad, L (low compressibility), si su límite líquido es menor al 50 % se obtienen grupos de suelos ML, CL y OL; Suelos de alta compresibilidad si su límite líquido es superior al 50 %, se coloca la letra H (high compressibility) de esta forma se clasificarían los grupos MH, CH y OH (Juárez & Rico, 2005).

Figura 18. Sistema unificado de clasificación de suelo SUCS

CLASIFICACIÓN DE LA ASTM (SUCS)						
DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLO DEL GRUPO	DENOMINACIÓN TÍPICA	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN		
SUELOS DE GRANO GRUESO Más del 50% es retenido en el tamiz # 200	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido por el tamiz # 4	GW	Gravas y mezclas grava – arena bien graduadas, con pocos finos o sin finos	<p>Clasificación basada en el porcentaje de limos que pasan por el tamiz # 200</p> <p>Menos del 5%: GW, GP, SW, SP Más del 12%: GM, GC, SM, SC Del 5 al 12%: Casos intermedios que requieren el uso de doble símbolo</p>		
		GP	Gravas y mezclas grava – arena mal graduadas, con pocos finos o sin finos			
		GM	Gravas limosas, mezclas grava – arena – limo			
		GC	Gravas arcillosas, mezclas grava – arena – arcilla			
	ARENAS Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz # 4	GRAVAS CON FINOS	SW		Arenas y arenas con grava bien graduadas, con pocos finos o sin finos	
			SP		Arenas y arenas con grava mal graduadas, con pocos finos o sin finos	
		ARENAS CON FINOS	SM		Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
			SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
					$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} D_{30}}$ entre 1y3 Cuando no se cumplen simultáneamente las dos condiciones para GW Debajo de la línea A o $IP < 4$ Por encima de la línea A o $IP > 7$ Los casos intermedios requieren doble símbolo	
					$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} D_{30}}$ entre 1y3 Cuando no se cumplen simultáneamente las dos condiciones para SW Debajo de la línea A o $IP < 6$ Por encima de la línea A o $IP > 7$ Los casos intermedios requieren doble símbolo	
SUELOS DE GRANO FINO 50% o más pasa por el tamiz # 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido igual o menor que 50	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas			
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas			
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos con mica diatomeas, limos elásticos			
		CH	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad			
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada			
SUELOS DE ESTRUCTURA ORGÁNICA	PT	Turbos, fangos y otros suelos de alto contenido orgánico	Fácilmente identificables por la presencia de raíces, hojas y materia vegetal fibrosa en descomposición, así como su color marrón oscuro o negro, su olor y su tacto suave y esponjoso			

Fuente: (Según ASTM D 2487-69, como se cito en Pincay, 2020)

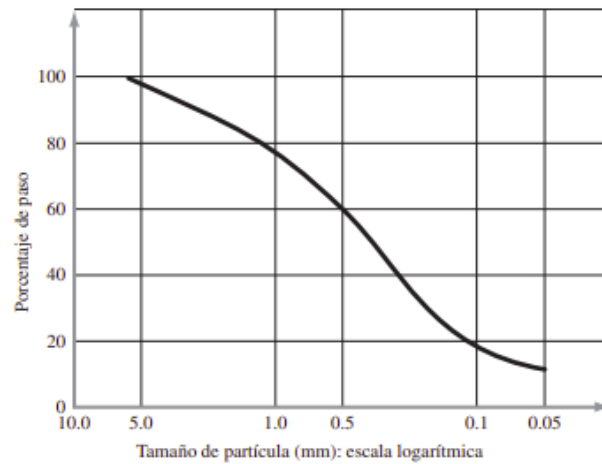
2.5.1 Granulometría

La clasificación del tamaño de grano del suelo se determina a través de un análisis mecánico, que muestra la gama de dimensiones de las partículas del suelo, expresado como un porcentaje del peso total de una muestra, habitualmente se utilizan los métodos: 1. Análisis por tamiz, para suelos con partículas que tengan dimensiones mayores al tamiz N° 200, (0.075 mm); 2. Análisis de hidrómetro para partículas con tamaños menores al tamiz N° 200 (Das, 2015).

El procedimiento por tamizado se encuentra estandarizado por la norma ASTM D-422, consiste en agitar una muestra de suelo a través de una serie de tamices con diferentes aberturas progresivamente más pequeñas, la cantidad de suelo retenido por un tamiz es denominado tamaño de grano de la muestra (Bowles, 1978). Para realizar el análisis granulométrico se debe secar la muestra en el horno y romper todos los grumos en pequeñas partículas. Posteriormente se debe agitar el suelo por una serie de tamices colocados según su apertura en orden decreciente hasta el más pequeño que para este tipo de pruebas será el N° 200, luego de agitar el suelo se establece la masa de suelo retenida por cada tamiz y así determinar el porcentaje más fino que pasa por cada tamiz. Finalmente se debe representar la distribución del tamaño de las partículas en una gráfica semilogarítmica, donde el porcentaje de finos se colocará en la ordenada en una escala aritmética y el tamaño de abertura del tamiz en el eje de las abscisas en escala logarítmica (Das, 2015).

La forma de la curva granulométrica, figura 19, puede mostrar información relevante de la distribución de los granos, pero esta graduación se puede calcular de forma numérica para la fracción de retenida en el tamiz N° 200, por medio del coeficiente de uniformidad (C_u) y por el coeficiente de concavidad (C_c), (Bowles, 1978).

Figura 19. Curva de distribución de tamaño de partícula



Fuente: (Das, 2015)

Estos coeficientes están definidos como:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Dónde:

C_u : Coeficiente de uniformidad

C_c : Coeficiente de concavidad

D_{10} : Tamaño del grano correspondiente al 10 % más fino

D_{30} : Tamaño del grano correspondiente al 30 % más fino

D_{60} : Tamaño del grano correspondiente al 60 % más fino

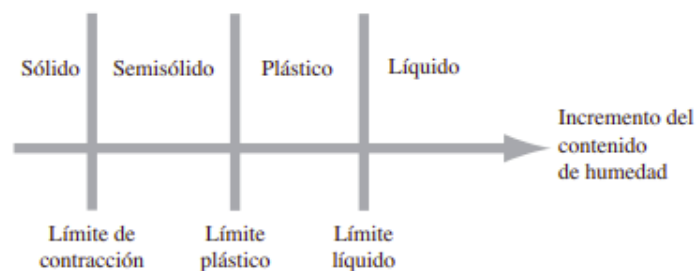
Para un valor de C_u alto muestra que extensa gama de tamaños de grano que se encuentran entre D_{60} y D_{10} , si C_c está cerca de un valor de 1.0, se podría decir que es un suelo

bien graduado, en cambio sí C_c es mucho mayor o mucho menor que 1.0 se trataría de un suelo pobremente graduado (Bowles, 1978).

2.5.2 Límites de Atterberg

En el año 1900 Albert Atterberg menciona que la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino que dependía en forma particular del contenido de agua, es decir una arcilla muy seca podría presentar una plasticidad nula mientras que si esta misma arcilla se encuentra con alto contenido de agua se asemejaría a la consistencia de un lodo o incluso una suspensión líquida. Según el contenido de agua en un suelo dispuesto a ser plástico este se puede encontrar en cuatro estados: Estado líquido; Estado semisólido; Estado plástico y sólido, figura 20, (Juárez & Rico, 2005). El contenido de humedad en el que se lleva a cabo la transición de estado sólido a semisólido es conocido como Límite de contracción. Mientras que para el contenido de humedad en el que se lleva a cabo la transición entre semisólido a estado plástico se denomina Límite plástico. Y por último el cambio de estado plástico a estado líquido es llamado Límite líquido. A todos estos límites se los conoce como los Límites de Atterberg (Das, 2015).

Figura 20. Límites de Atterberg

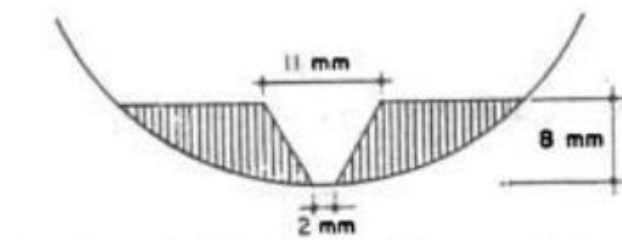


Fuente: (Das, 2015)

2.5.2.1 Limite líquido

Para la determinación del límite líquido se utiliza la cuchara de Casagrande este dispositivo está formado por una copa de latón o bronce que descansa sobre una base de goma dura. El mecanismo de ascenso y descenso de la copa que produce el golpe con la base esta operado por una manivela. Para esta prueba se debe colocar una mezcla del suelo con agua de tal manera que se forme una pasta sobre la copa y realizar una ranura que atraviese la muestra de suelo por el centro utilizando una herramienta de ranurado de forma prismática. Se levanta la copa accionando el mecanismo de la manivela y se la deja caer una distancia de 10 mm. El límite líquido se define como el porcentaje del contenido de humedad necesario para cerrar la ranura a lo largo de 12.7 mm después de 25 golpes (Das, 2015). Ver figura 21.

Figura 21. Dimensiones de la ranura en la copa de Casagrande

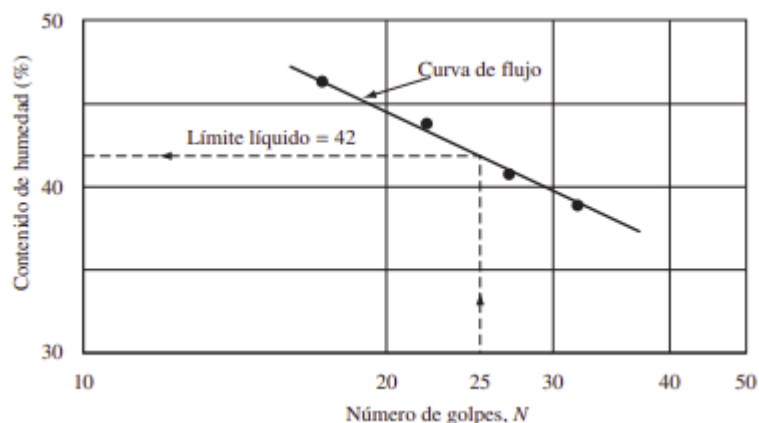


Fuente: (Juárez & Rico, 2005)

Si bien el contenido de humedad del suelo para lograr el cierre requerido de 12.7 mm, en la ranura con 25 golpes es un tanto complicado de ajustar se realizarán cuatro pruebas de entre 15 y 35 golpes para determinar el número de golpes necesario para conseguir el cierre. Finalmente, el límite líquido se determina mediante el trazo de la curva de flujo en una escala semilogarítmica que ubica en el eje de las abscisas el número de golpes y en las ordenadas el porcentaje de contenido de humedad. La curva de flujo resulta en una línea casi recta y se determinara la humedad correspondiente a 25 golpes. El procedimiento para realizar este ensayo esta designado por la norma como ASTM D-4318 (Das, 2015). En la figura 22 se

puede apreciar el ajuste de la curva luego de cuatro ensayos para determinar el límite líquido de un suelo.

Figura 22. Curva de flujo para determinar el límite líquido de una arcilla limosa



Fuente: (Das, 2015)

2.5.2.2 Limite plástico

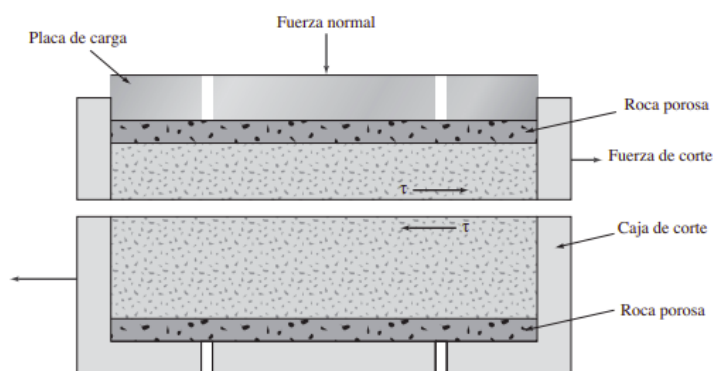
El límite plástico se obtiene a través de la formación de rollitos de la muestra de suelo sobre una hoja de papel seca, esto acelera la pérdida de humedad del material, o una placa de vidrio esmerilado. Al llegar los rollitos de material a un diámetro de 3.0 mm deben ser doblados y presionados para posteriormente volver a ser rolados y llegar nuevamente a un diámetro de 3.0 mm y se produzca agrietamiento y desmoronamiento se tomara el peso de los rollos y se llevara al horno a secar y determinar su porcentaje de contenido de humedad. Un parámetro que puede determinar importante para suelos arcillosos es el Índice de plasticidad (IP) y se contiene de la diferencia entre el Limite líquido (LL) y el Limite plástico (LP) (Juárez & Rico, 2005). El procedimiento para para la determinación del límite plástico se encuentra estandarizado por la norma ASTM D-4318.

$$IP = LL - LP$$

2.6 Ensayo de corte directo

Esta es una de las pruebas más simples y antiguas que se utiliza en la ingeniería para determinar el esfuerzo cortante de un suelo. Consiste en una caja metálica donde es colocado el material, las muestras pueden ser cuadradas o circulares. Los especímenes para la prueba pueden tener un área aproximada de 20.0 cm^2 a 25.0 cm^2 y una altura de 25.0 mm a 30.0 mm . La Caja se encuentra dividida de forma horizontal en dos partes, una móvil y una fija. Se aplica una fuerza normal en la parte superior y una fuerza transversal a velocidad constante en la sección móvil de la caja de corte que generara la falla a través de un plano (Gómez & Guillyn, 2015). El ensayo de corte directo esta estandarizado por la norma ASTM D-3080. La figura 23 indica un arreglo para realizar el ensayo de corte directo.

Figura 23. Diagrama de arreglo para prueba de corte directo



Fuente: (Das, 2015)

Los ensayos de corte directo se pueden clasificar como: 1. Ensayos no consolidados – no drenados, donde bajo la aplicación de la carga normal el corte se produce antes de la consolidación, este ensayo es análogo a la prueba triaxial no consolidado – no drenado; 2. Ensayo consolidado – no drenado, a partir de la observación en la variación vertical del deformímetro se aplicara la fuerza cortante una vez que dicha variación cese, es semejante a

las pruebas triaxiales consolidado – no drenado y consolidado – drenado; 3. Ensayo consolidado – drenado, luego de la aplicación de la fuerza normal la carga de corte será aplicada no antes de que se produjera todo el asentamiento, este ensayo es análogo a la prueba triaxial consolidado – drenado. Las fuerzas aplicadas a la caja de corte producen los esfuerzos: normal (σ_n) y de corte (τ), estos esfuerzos deberán satisfacer la ecuación de Coulomb (Barreto & Cárdenas , 2015).

$$\tau = c + \sigma_n \tan\phi$$

Dónde:

τ : Esfuerzo de corte

c : Cohesión del suelo

σ_n : Esfuerzo normal

ϕ : Angulo de fricción interna del suelo

2.7 Ensayo triaxial

Los ensayos triaxiales tienen un alto grado de confiabilidad principalmente cuando son utilizados para hallar parámetros que ayudan a determinar la resistencia de los materiales que conforman el subsuelo, su procedimiento se encuentra descrito y estandarizado por la norma ASTM D-2850. Consiste en colocar dentro de una cámara una muestra cilíndrica de suelo revestida por una membrana de látex. Tanto en la parte superior como en la inferior de la muestra se colocan discos porosos, estos irán conectados al sistema de drenaje y son utilizados al momento de drenar o saturar la muestra que se encuentra colocada en la cámara. Los especímenes están sujetos a presiones generadas por un líquido, habitualmente agua, y

una carga axial que es transmitida por medio de vástago un en la parte superior de la cámara (Salas, 2011). Para causar la falla cortante en la muestra se aplica un esfuerzo axial por medio de un pistón de carga vertical, a este esfuerzo se lo conoce como esfuerzo desviador, este se puede producir por la aplicación de pesos muertos en incrementos similares hasta que la muestra llegue a la falla, o por una prensa hidráulica de carga que aplica a una deformación axial a velocidad constante (Das, 2015).

La presión hidrostática que ejerce el agua al llenar la cámara produce esfuerzos tanto laterales como axiales en todas las direcciones. Se desarrollan tres esfuerzos principales: mayor (σ_1); intermedio (σ_2) y mínimo (σ_3). Al realizarse una prueba de compresión, el esfuerzo principal se produce por la presión generada por la presión axial mientras que los esfuerzos intermedio y mínimo son iguales entre sí y similares a la presión lateral (Salas, 2011).

Existen tres tipos de pruebas triaxiales: 1. Prueba lenta consolidada – drenada (CD), se aplica en primer lugar una presión hidrostática dejando transcurrir el tiempo suficiente para que exista consolidación bajo la presión actuante luego la muestra es llevada a la falla aplicando pequeños incrementos de la carga axial el tiempo suficiente para que la presión en el agua se reduzca a cero; 2. Prueba rápida consolidada – no drenada (CU), la muestra se consolida inicialmente bajo la presión hidrostática y posteriormente es llevada a la falla por un incremento rápido de la carga axial de tal forma que no se genere un cambio de volumen; 3. Prueba rápida no consolidada – no drenada (UU), en esta prueba no se permite que se genere consolidación en ninguna etapa esto se logra aplicando una presión hidrostática a la muestra y de manera inmediata se aplica una carga axial que lleve al suelo a la falla, generalmente es utilizada esta prueba en suelos arcillosos (Salas, 2011).

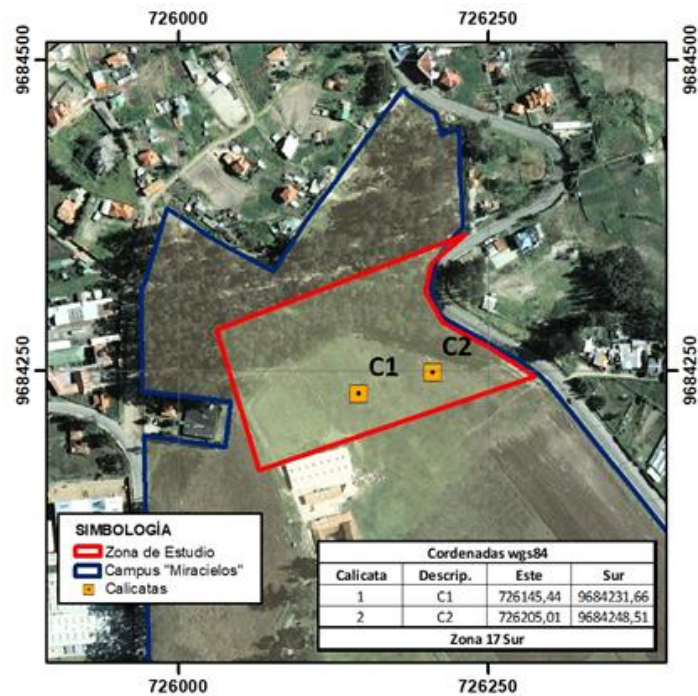
CAPITULO III. ENSAYOS

3.1 Ensayos por exploración directa

3.1.1 Calicatas

La obtención de muestras de suelo para el desarrollo de los correspondientes ensayos de laboratorio y así determinar las características del suelo en el área de estudio para este proyecto se realizará por medio de calicatas o zanjas a cielo abierto. Este método permitió en un principio y por inspección visual determinar la profundidad de los estratos presentes en el sitio. Se realizaron dos calicatas cuya ubicación se encuentra descrita a continuación en la figura 24.

Figura 24. Ubicación de puntos de extracción de suelo por medio de calicatas a cielo abierto



Fuente: El Autor

Definido los lugares para la extracción de las muestras de suelo. Se procedió a la excavación por medio de una retroexcavadora realizando dos calicatas con dimensiones de

3.0 m de profundidad, 0.4 m de ancho, longitud de 3.5 m, que permitió el ingreso y recolección de material, como se indica en las figuras 25, 26.

Figura 25. *Calicata 1, para extracción de muestra*



Fuente: El Autor

Figura 26. *Calicata 2, para extracción de muestra*



Fuente: El Autor

La recolección de las muestras inalteradas se obtuvo de las paredes laterales de las zanjas, tallándose un prisma de 0.25 m de lado aproximadamente, posterior a la extracción estas fueron envueltas en tres capas de material plástico, con el objetivo de conservar las

condiciones naturales del suelo, de tal forma que al momento en que se realizaron las pruebas de laboratorio los resultados obtenidos sean lo más apegados a las condiciones *In situ* del material.

Figura 27. *Labrado y extracción de muestra inalterada en la pared de la zanja*



Fuente: El Autor

Además de la extracción de material, por simple inspección se pudo llevar a cabo la estratigrafía visual de los dos puntos donde se realizaron las calicatas como se puede apreciar en la figura 28 y figura 29. En los dos sitios se pudo diferenciar la existencia de tres capas predominantes: La primera capa, identificado plenamente como una capa vegetal con presencia de material orgánico. La segunda capa, con presencia de material arenoso de poca profundidad de donde se recolecto material alterado para su clasificación. Una tercera capa, persistente a profundidad, compuesto de igual forma por material arenoso que mostraba una consolidación importante. De esta última se recolectaron las muestras alteradas e inalteradas de suelo para su clasificación y posterior determinación de los parámetros que lo componen. Los lugares de extracción y material obtenido a diferentes profundidades se describen a continuación en la tabla 5.

Figura 28. *Estratigrafía Visual punto de extracción Calicata 1*



Fuente: El Autor

Figura 29. *Estratigrafía Visual punto de extracción Calicata 2*



Fuente: El Autor

Tabla 5. Lugares de extracción de muestras y tipo de material recolectado por estrato

Calicata	Ubicación		Descripción	Denominación	Profundidad de recolección (m)	Tipo de material recolectado para Muestra
1	726145,44	9684231,65	Capa Vegetal	CV	0,40	Sin recolección
			Estrato 1	E1	1,25	Alterado
			Estrato 2	E2	3,00	Alterado/Inalterado
2	726205,01	9684248,51	Capa Vegetal	CV	0,28	Sin recolección
			Estrato 1	E1	0,90	Alterado
			Estrato 2	E2	3,00	Alterado/Inalterado

Fuente: El Autor

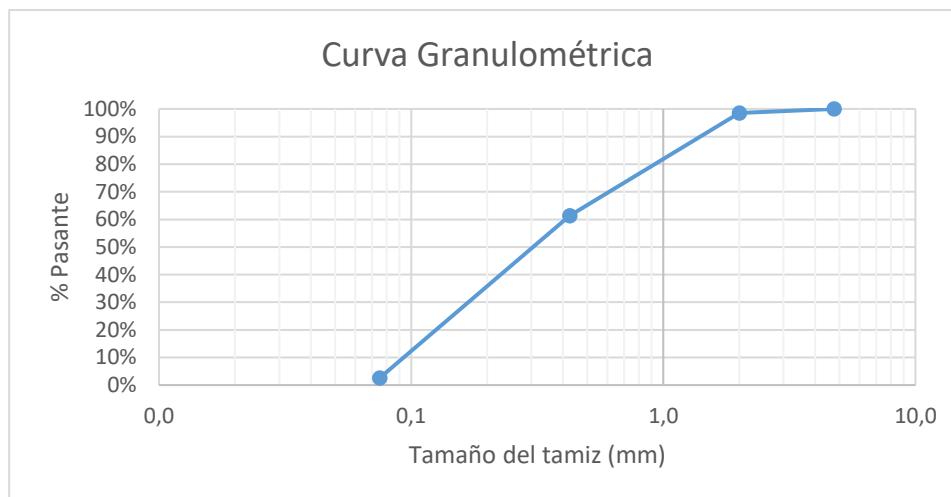
3.1.2 Clasificación de suelo

3.1.2.1 Granulometría

Para la determinación de la granulometría de cada uno de los estratos antes de proceder al tamizado, se procedió a realizar un triturado para eliminar las porciones del material que se encuentra consolidado, el material resultado de la trituración se mezcló y se extrajo porciones de 500 g las cuales fueron lavadas para eliminar el contenido de materia orgánica, posteriormente el material fue secado en el horno a una temperatura de 30° C. Las muestras de suelo fueron pesadas y colocadas en un juego de tamices donde se separó el material correspondiente a tamaño de grano grueso y fino dependiendo del material pasante y retenido por cada una de las aberturas de las mallas que se usaron. La información que se obtuvo del tamizado se utilizó para la construcción de la curva granulométrica de cada estrato

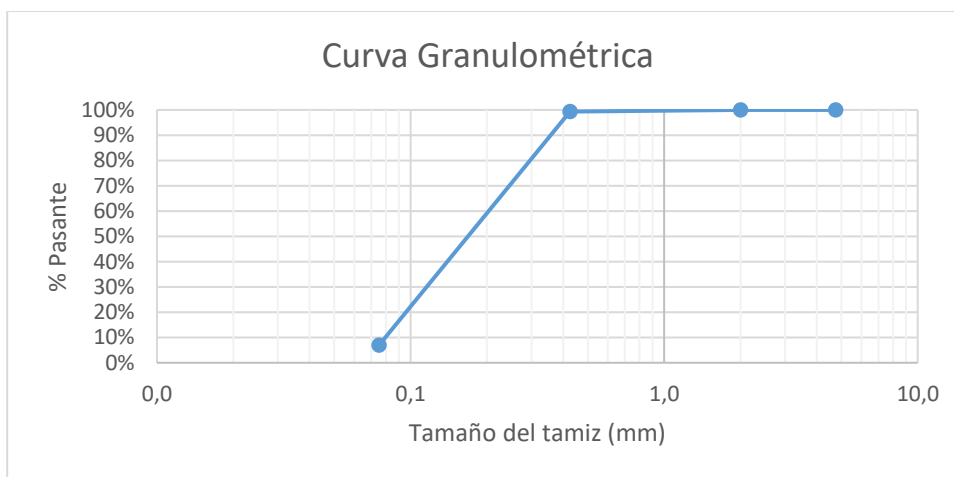
así como también para la determinación de los coeficientes de uniformidad (C_u) y de Concavidad (C_c). A continuación se detallan las curvas que se obtuvieron para cada estrato.

Figura 30. *Curva Granulométrica correspondiente a la Calicata 1, Estrato 1*



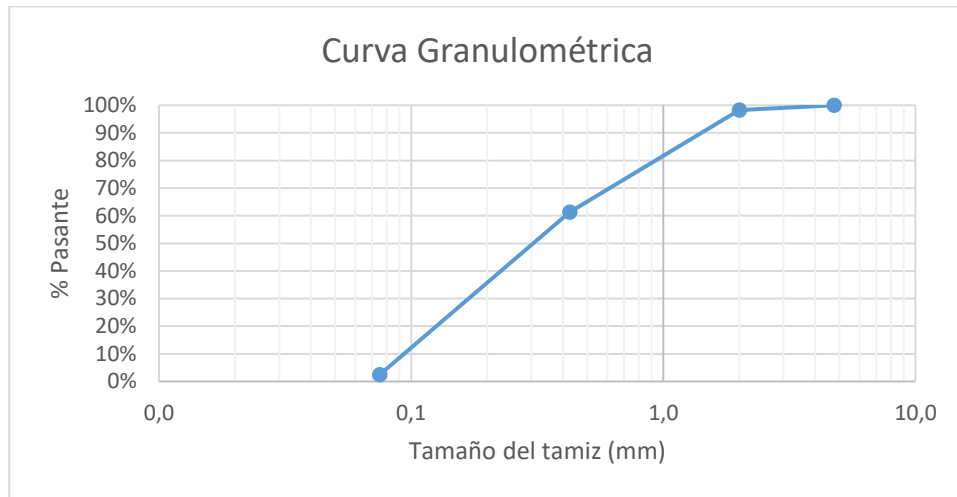
Fuente: El Autor

Figura 31. *Curva Granulométrica correspondiente a la Calicata 1, Estrato 2*



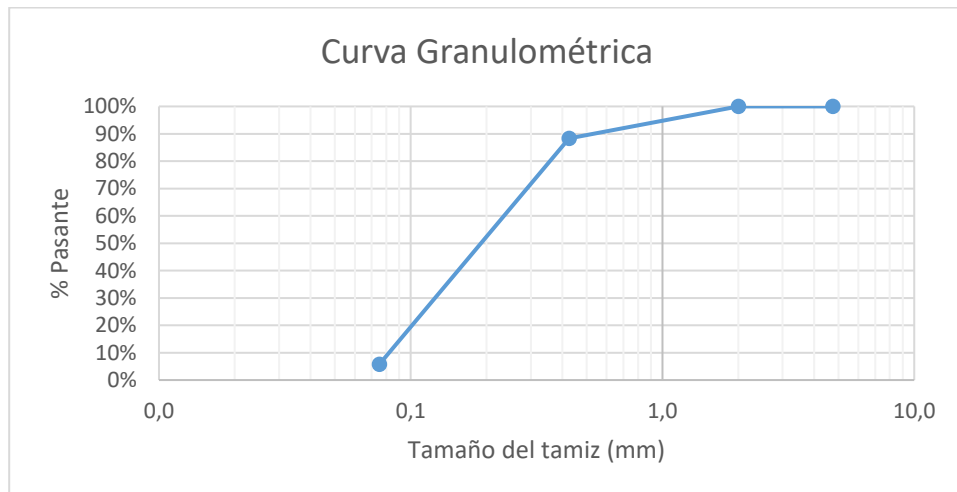
Fuente: El Autor

Figura 32. Curva Granulométrica correspondiente a la Calicata 2, Estrato 1



Fuente: El Autor

Figura 33. Curva Granulométrica correspondiente a la Calicata 2, Estrato 2



Fuente: El Autor

En la tabla 6 y tabla 7, se muestra los resultados obtenidos para los coeficientes (C_c) y (C_u) obtenidos a partir de los valores D_{10} , D_{30} y D_{60} para cada uno de los estratos así como también el contenido en porcentaje de las porciones de gravas, arenas y finos que componen cada capa del suelo en estudio.

Tabla 6. Valores para D_{10} , D_{30} , D_{60} , C_c y C_u por estrato

Calicata	Estrato	D10	D30	D60	C_c	C_u
1	E1	0,093	0,168	0,408	0,745	4,368
	E2	0,080	0,116	0,203	0,829	2,555
2	E1	0,094	0,169	0,409	0,745	4,360
	E2	0,080	0,125	0,235	0,810	2,860

Fuente: El Autor

Tabla 7. Contenido de componente Grueso, Arena y fino por estrato de las muestras

Calicata	Estrato	% de Componente		
		Grueso	Arena	Fino
1	E1	0	97,44	2,56
	E2	0	93,11	6,89
2	E1	0	97,56	2,44
	E2	0	94,26	5,74

Fuente: El Autor

Como se puede observar el material del que principalmente se encuentra compuesto las muestras de suelo es arenoso, sin presencia de gravas y con bajo contenido de finos. En los casos de los estratos más profundos de las calicatas se puede observar un contenido mayor al 5% de finos lo que más adelante será tomado en consideración para la clasificación del suelo ya que por esta característica se podría derivar al suelo en un material arenoso limoso o arenoso arcilloso.

3.1.2.2 Límite Líquido

Para la determinación de límite líquido se tomó una porción del material pasante por la malla #40, lentamente adicionamos agua hasta conseguir que el material tenga una consistencia pastosa. Esta pasta fue colocada en la cuchara de Casagrande guardando las premisas de que el material forme una rasante con el extremo inferior de la cuchara, y que no exista la presencia de burbujas en la superficie de la muestra. Utilizando la herramienta del partidor creamos una ranura que atravesó la muestra, accionamos el mecanismo de la

cuchara que producirá los golpes hasta que la ranura creada se cerró y retiramos la cantidad de muestra que entro en contacto para pesarla y llevarla al horno y secarlo.

Figura 34. *Colocación del material para realizar ensayo de la cuchara de Casagrande*



Fuente: El Autor

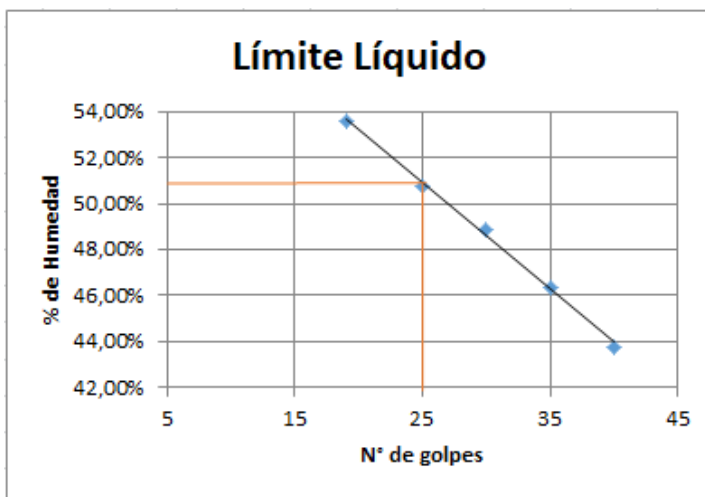
Figura 35. *Porción de material que entró en contacto al realizar el ensayo de la cuchara de Casa grande luego de 25 golpes*



Fuente: El Autor

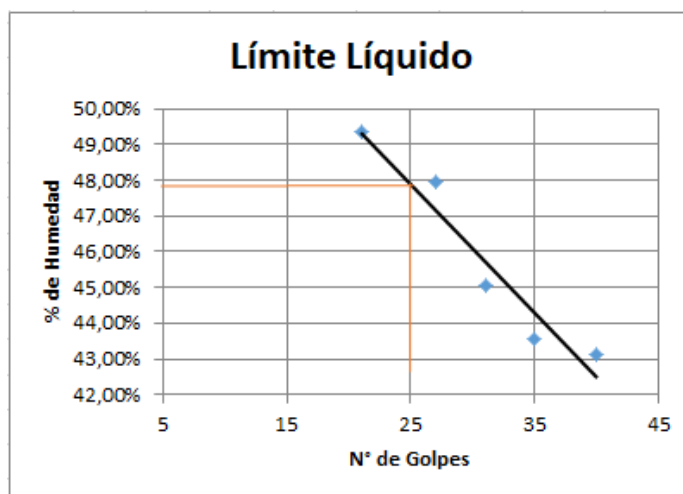
Este procedimiento se repitió para cada muestra de los diferentes estratos 5 veces, de esta forma se obtuvo una gráfica de dispersión que muestra el cierre de la ranura a diferentes números de golpes y diferente contenido de agua. Los resultados del límite líquido para cada estrato se presentan a continuación en las figuras 36 a la 39.

Figura 36. *Límite Líquido Calicata 1 Estrato 1*



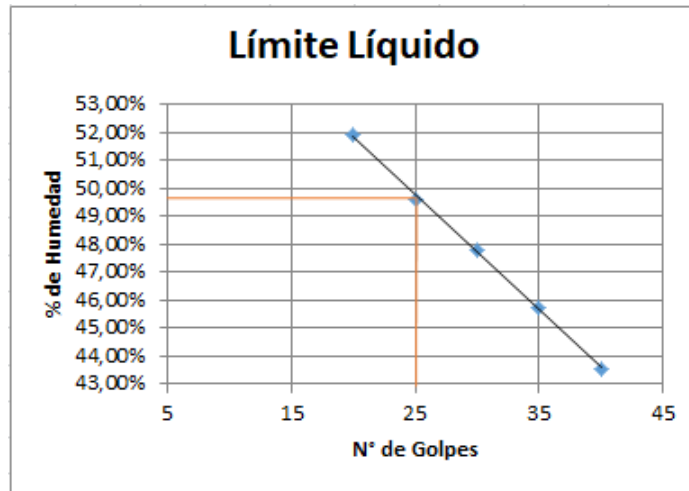
Fuente: El Autor

Figura 37. *Límite Líquido Calicata 1 Estrato 2*



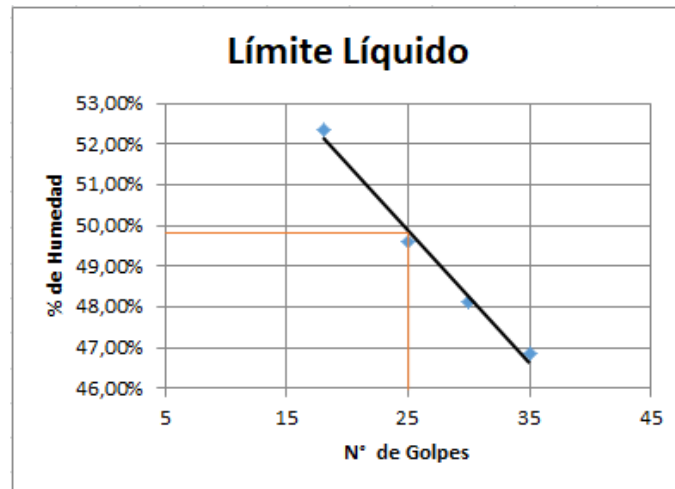
Fuente: El Autor

Figura 38. Límite Líquido Calicata 2 Estrato 1



Fuente: El Autor

Figura 39. Límite Líquido Calicata 2 Estrato 2



Fuente: El Autor

3.1.2.3 Límite Plástico

Para la obtención del límite plástico se utilizó el material pasante del tamiz #40, agregándole agua de tal manera que se formó con él una pasta de consistencia seca, se extrajeron pequeñas muestras que fueron enrolladas y estiradas sobre papel hasta que se formaron pequeños rollos de alrededor de 3.0 mm. El enrollamiento de la muestra continuo hasta que el material mostro la aparición de agrietamientos a lo largo de la superficie en

contacto. Una vez aparecidas las grietas en el material se procedió a pesarlo y llevarlo al horno para su secado y así determinar su porcentaje de humedad que se tradujo en el límite plástico del suelo. El procedimiento se repitió en cuatro ocasiones para cada muestra de estrato y así determinar una humedad promedio. Por último, se realizó la determinación del índice de plasticidad. En la tabla 8 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los límites líquido y plástico, así como el índice de plasticidad para cada estrato analizado.

Tabla 8. Valores de L.L, L.P, I.P, obtenidos de las muestras extraídas para el estudio

Calicata	Estrato	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
1	E1	50,75	26,57	24,18
	E2	47,90	34,16	13,74
2	E1	49,80	26,02	23,78
	E2	49,80	30,35	19,45

Fuente: El Autor

Figura 40. Material utilizado para la determinación de L.L. y L.P. antes del secado



Fuente: El Autor

Obtenidos los parámetros de la granulometría y la información correspondiente a los límites de consistencia se procedió a realizar la clasificación del suelo por el método SUCS y ASHTO. Las muestras analizadas estas compuestas principalmente por arenas en

porcentajes mayores al 90% de la muestra y material finos entre valores que oscilan entre 2% y 7%, en ningún de los especímenes se evidencio presencia de gravas. Los valores correspondientes al límite líquido de encuentran bordeando el 50%.

En el caso del estrato 2 correspondiente a la calicata 1 y el estrato 2 perteneciente a la calicata 2, se determinó la existencia de material fino que se encontraba en un rango de 5% al 12% por lo cual para su clasificación fue necesario la utilización de símbolos dobles. La tabla 9 a continuación expresa los resultados de la clasificación del suelo para cada estrato del material obtenido de las calicatas.

Tabla 9. Clasificación de Suelo resultado de los ensayos realizados en el laboratorio

	Calicata 1		Calicata 2	
	E1	E2	E1	E2
Gravas (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
Arenas (%)	97,44	93,11	97,56	94,26
Finos (%)	2,560	6,890	2,440	5,740
C_c	0,745	0,829	0,745	0,810
C_u	4,368	2,555	4,360	2,860
Límite Líquido (%)	50,75	47,90	49,80	49,80
Límite Plástico (%)	26,57	34,16	26,02	30,35
Índice de Plasticidad (%)	24,18	13,74	23,78	19,45
Clasificación SUCS				
Símbolo	SP	SP-SM	SP	SP-SM
Denominación	Arena mal graduada	Arena mal graduada con limo	Arena mal graduada	Arena mal graduada con limo
Clasificación ASHTO				
Símbolo	A-2-7-(0)	A-2-7-(0)	A-2-7-(0)	A-2-7-(0)
Denominación	Grava y Arena limosa o arcillosa	Grava y Arena limosa o arcillosa	Grava y Arena limosa o arcillosa	Grava y Arena limosa o arcillosa

Fuente: El Autor

3.1.3 Ensayo Corte Directo

El ensayo de corte directo se realizó según lo estipulado en la norma ASTM D-3080. Del material que se obtuvo de forma inalterada en las calicatas se realizó el labrado, por medio de un toma muestras se obtuvieron tres probetas con dimensiones de 6.3 cm de largo 6.3 cm de ancho y altura de 1.7 cm, las cuales fueron sometidas a tres cargas axiales diferentes de 10 kg, 20 kg, 40 kg.

Figura 41. *Labrado de probeta ensayo corte directo*



Fuente: El Autor

Las muestras se colocaron en una caja metálica partida que forma parte del equipo para ensayo de corte directo, en donde se les aplicó una fuerza axial, en la parte superior, y una fuerza transversal, en la cara lateral de la caja, las cuales provocaron una falla por corte en el material. Conocidas las fuerzas normales y transversales se pudo determinar el esfuerzo normal y esfuerzo cortante, estos datos se emplearon para construir una gráfica de dispersión de los valores para los dos esfuerzos como se observa en las figuras 43 y 44, en la figura 42 se indica el equipo para el ensayo de corte directo.

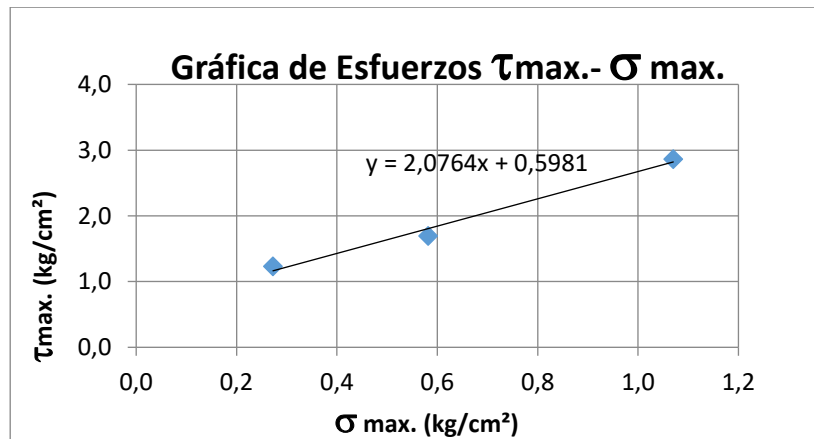
Figura 42. Equipo para ensayo de corte directo



Fuente: El Autor

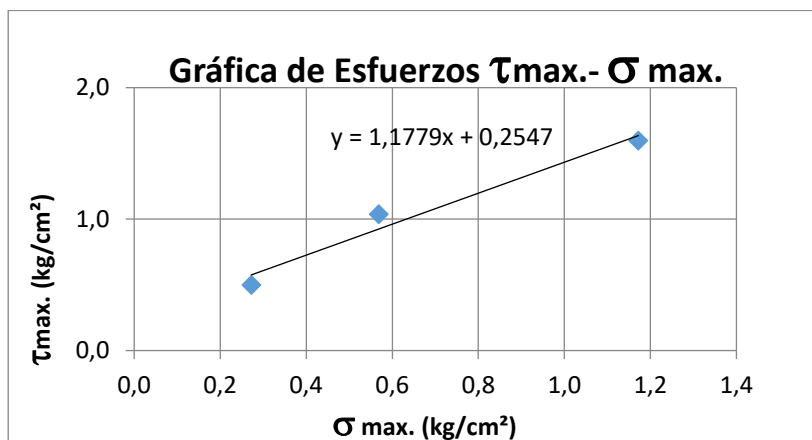
De la gráfica $\tau_{max} - \sigma_{max}$. Se trazó una recta que marca la tendencia de los valores de los esfuerzos, la ecuación de dicha recta se usó para obtener los valores de cohesión y ángulo de fricción interna del suelo. La tabla 10 presenta los resultados de ángulo de fricción y cohesión de las muestras.

Figura 43. Gráfica Esfuerzo Cortante máximo y Normal máximo, Calicata 1 estrato 2



Fuente: El Autor

Figura 44. Gráfica Esfuerzo Cortante máximo y Normal máximo, Calicata 2 estrato 2



Fuente: El Autor

Tabla 10. Valores de ángulo de fricción y cohesión de las muestras extraídas con material inalterado ensayo corte directo

Calicata	Estrato	Profundidad	Cohesión C (kg/cm ²)	Angulo de fricción ϕ (°)
1	E2	3,00	0,60	64,28
2	E2	3,00	0,25	49,67

Fuente: El Autor

3.1.4 Ensayo Triaxial

El procedimiento que se utilizó para la ejecución del ensayo triaxial UU (no drenado, no consolidado) se encuentra estandarizado por la norma ASTM D-2850. Del material inalterado recuperado de la excavación se procedió al tallado de tres especímenes cilíndricos, con alturas de entre 9.5 cm a 10.2 cm y diámetros aproximados de 4.6 cm a 5.1 cm, estos fueron colocados en la cámara del equipo para ensayo triaxial.

Cada muestra fue ensayada a una presión diferente, esta se consigue llenando la cámara del equipo con agua. En el caso del material tomado del estrato 2 de la calicata 1, las presiones utilizadas fueron de 10 kPa, 20 kPa, 40 kPa. Para el análisis de las probetas del

estrato 2 extraído de la calicata 2 se utilizaron presiones de cámara de 20 kPa, 40 kPa, 80 kPa.

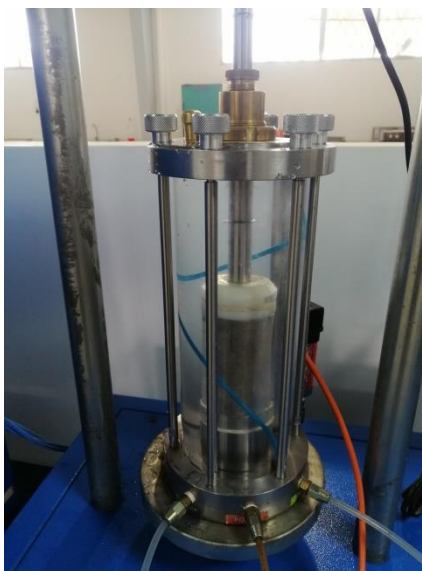
Figura 45. *Muestras labradas de material inalterado para ensayo triaxial*



Fuente: El Autor

Generada la presión de cámara para cada muestra al ser un ensayo UU (no drenado, no consolidado) inmediatamente se procedió a aplicar una carga axial al material por medio de un vástago en la parte superior de la cámara.

Figura 46. *Aplicación de presión y fuerza axial en la muestra, ensayo triaxial UU*



Fuente: El Autor

La combinación de la presión de cámara y la fuerza axial llevaron al material a fallar. Los valores de los esfuerzos principales σ_1 , σ_2 , σ_3 , determinados a través del ensayo triaxial para cada material se encuentran expresados en las tablas 11.

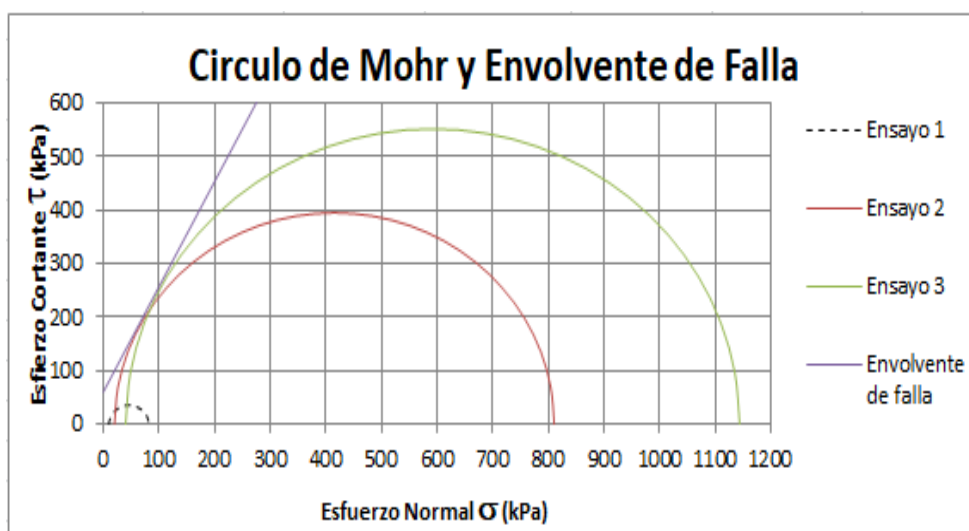
Tabla 11. Valores de esfuerzos σ_1 , σ_2 , σ_3 , obtenidos del ensayo triaxial UU del material analizado

Calicata	Estrato	Ensayo	Esfuerzo Principal Mayor σ_1 (kPa)	Esfuerzo Desviador σ_2 (kPa)	Presión de Cámara σ_3 (kPa)
1	E2	1	81,66	71,66	10,00
		2	810,47	790,47	20,00
		3	1143,74	1103,74	40,00
2	E2	1	1960,98	1940,98	20,00
		2	1387,21	1347,21	40,00
		3	2472,33	2392,33	80,00

Fuente: El Autor

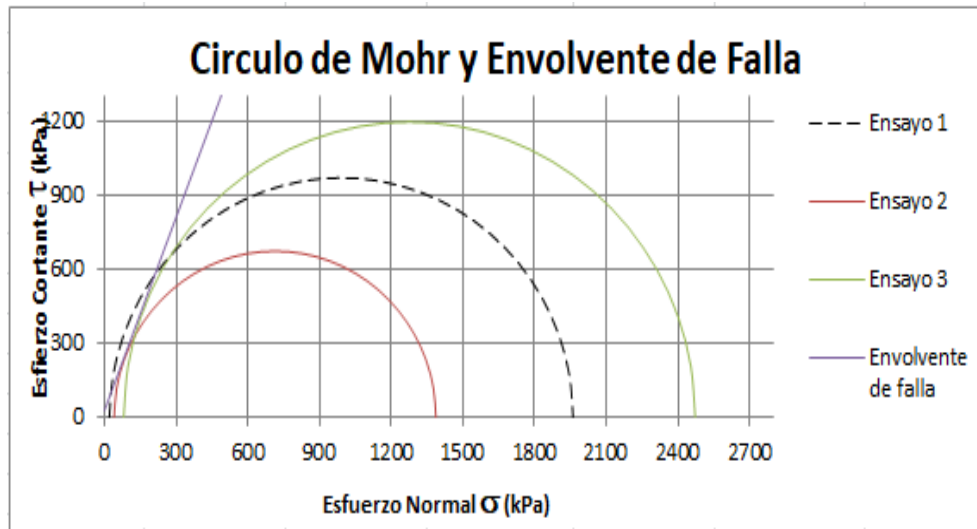
Obtenidos los valores de los esfuerzos principales y desviador σ_1 , σ_3 , σ_2 , se procedió a la construcción de la gráfica de envolvente de falla como se muestra en las figuras 47 y 48.

Figura 47. Envolvente de falla, Calicata 1, Estrato 2



Fuente: El Autor

Figura 48. *Envolvente de falla, Calicata 2, Estrato 2*



Fuente: El Autor

Finalmente se obtuvieron los valores de cohesión y ángulo de fricción interna del suelo como se indica en la tabla 12.

Tabla 12. *Valores de ángulo de fricción y cohesión de las muestras extraídas con material inalterado ensayo triaxial UU*

Calicata	Estrato	Profundidad	Cohesión C (kPa)	Cohesión C (kg/cm ²)	Ángulo de fricción φ (°)
1	E2	3,00	61,00	0,61	63
2	E2	3,00	30,00	0,30	69

Fuente: El Autor

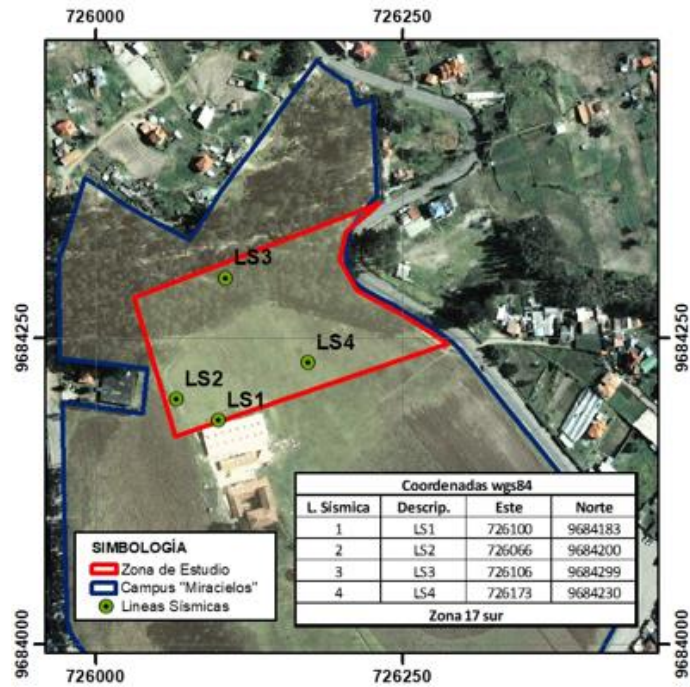
3.2 Ensayo por exploración indirecta

3.2.1 Sísmica de refracción MASW

Para la determinación de velocidades de onda (V_p), (V_s) se empleó el método de sísmica de refracción, mediante la técnica MASW (Análisis Multicanal de Onda Superficial). Este ensayo permite obtener la información de los estratos del subsuelo a diferentes profundidades, sin la necesidad de realizar excavaciones o recolección de material, así como parámetros elásticos propios de la zona de estudio.

Se procedió a realizar 4 líneas sísmicas de 50 m de longitud cuya ubicación se encuentra representada a continuación en la figura 49.

Figura 49. Ubicación de Líneas Sísmicas en el área de estudio



Fuente: El Autor

El procedimiento empleado de análisis por refracción sísmica para la investigación del subsuelo se encuentra estipulado en la normativa ASTM D-5777.

Luego de definirse los lugares para la recolección de datos por medio del ensayo MASW. Se procedió al tendido del cable sísmico y la colocación de los receptores sísmico o geófonos a una distancia conocida de 2.0 m. Estos fueron dispuestos de tal forma que guarden una alineación entre el primero y el último de los 24 geófonos que se emplearon, en la figura 50, 51, se observa el equipo utilizado en el tendido de la línea sísmica para el ensayo de campo.

Figura 50. *Equipo de geofísica PASI GEA 24, cable trigger, cable sísmico, geófonos*



Fuente: El Autor

Figura 51. *Colocación de geófonos y tendido de línea sísmica*



Fuente: El Autor

Tendida la línea sísmica se procedió a conectar los geófonos y el cable sísmico con el equipo de sísmica de refracción. Antes de realizar los disparos, verifico las conexiones y se realizó la configuración del equipo de tal manera que no existan errores significativos en la obtención de resultados. Por último, se realizaron 5 disparos, “shots”, por medio de una

fuerza pasiva, martillo de 16 lb, hacia una placa de acero en contacto con el suelo. Cada señal de disparo fue registrada y almacenada en el computador a través del software PASI GEA en su versión de PC para el análisis.

Figura 52. *Conexión y configuración de equipo para ensayo de Sísmica de refracción (MASW)*



Fuente: El Autor

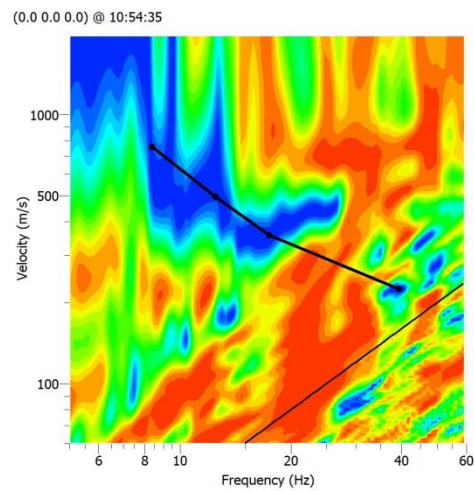
Figura 53. *Disparo generador de vibración, por medio pasivo martillo-placa*



Fuente: El Autor

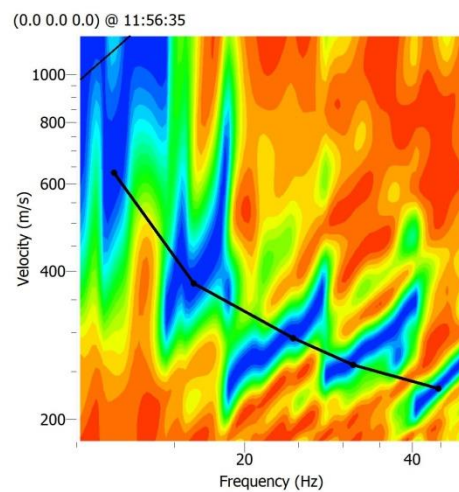
Posterior al proceso de recolección de datos se utilizó el paquete del software GEOPSY en su versión 3.4.2 para elaborar la curva de dispersión velocidad-frecuencia. En las figuras 54 a la 57 se observan los gráficos velocidad- frecuencia obtenidos de las líneas sísmicas realizadas.

Figura 54. *Grafica de dispersión velocidad-frecuencia, línea sísmica 1*



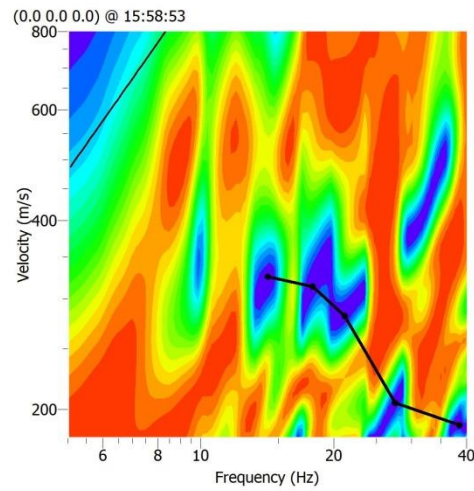
Fuente: El Autor

Figura 55. *Grafica de dispersión velocidad-frecuencia, línea sísmica 2*



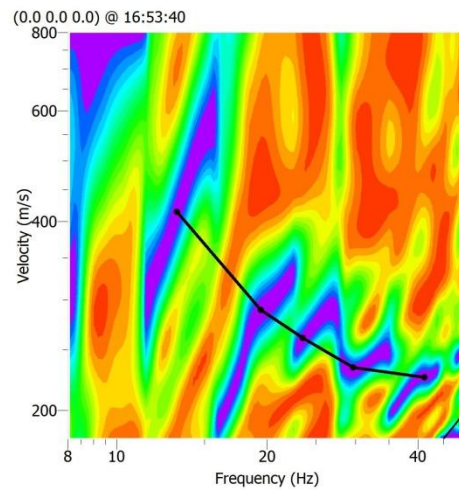
Fuente: El Autor

Figura 56. Grafica de dispersión velocidad-frecuencia, línea sísmica 3



Fuente: El Autor

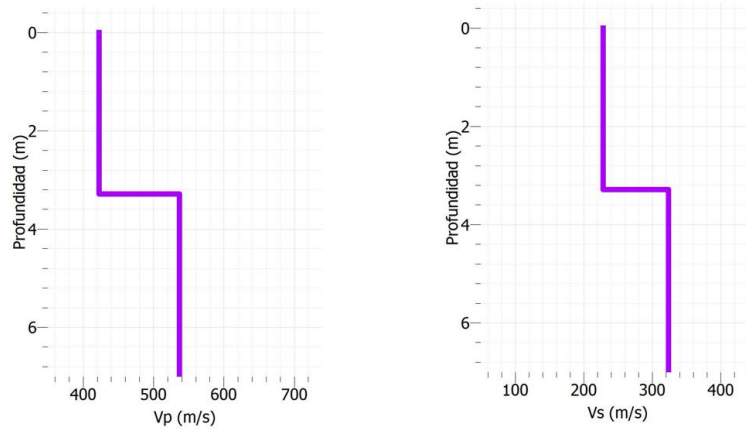
Figura 57. Grafica de dispersión velocidad-frecuencia, línea sísmica 4



Fuente: El Autor

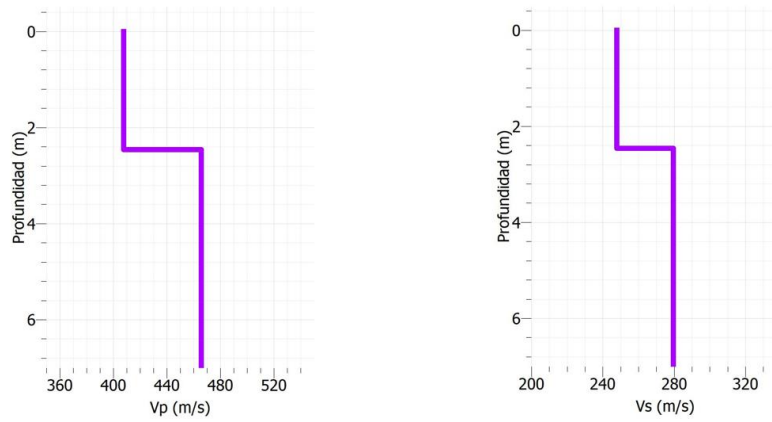
Por último se utilizó el módulo DINVER, parte del paquete de GEOPSY 3.4.2, para realizar el proceso de inversión de las curvas velocidad-frecuencia, y hallar las velocidades de onda a diferentes profundidades. A continuación, en las figuras 58 a la 61 se evidencian las curvas profundidad-velocidad obtenidas de las líneas sísmicas.

Figura 58. *Curvas profundidad-velocidad, para V_p y V_s , línea sísmica 1*



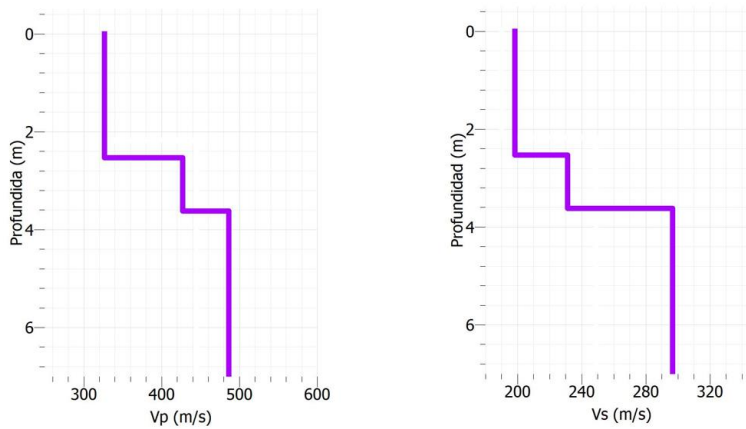
Fuente: El Autor

Figura 59. *Curvas profundidad-velocidad, para V_p y V_s , línea sísmica 2*



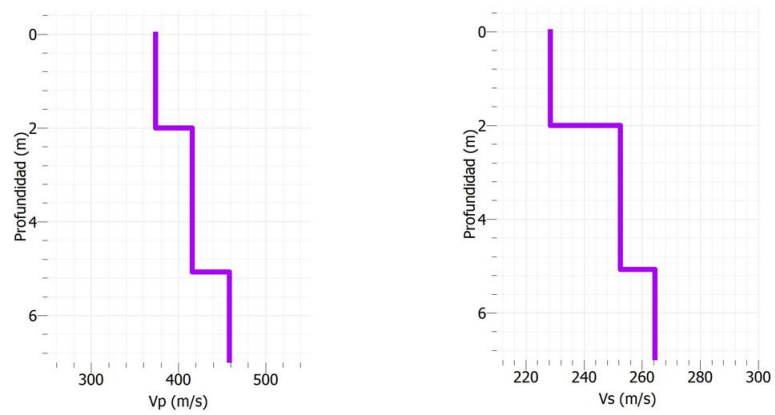
Fuente: El Autor

Figura 60. *Curvas profundidad-velocidad, para V_p y V_s , línea sísmica 3*



Fuente: El Autor

Figura 61. Curvas profundidad-velocidad, para V_p y V_s , línea sísmica 4



Fuente: El Autor

En la tabla 13 y 14 se presentan los valores típicos de V_p y V_s para diferentes tipos de suelo y roca.

Tabla 13. Rango de velocidades para las ondas de compresión en el suelo y roca

Materiales Suelo y roca natural	Velocidad (m/s)
Material de superficie degradada	240 - 610
Grava o arena seca	460 - 915
Arena (Saturada)	1220 - 1830
Arcilla (Saturada)	915 - 2750
Areniscas	1830 - 3960
Esquisto	2750 - 4270
Tiza	1830 - 3960
Caliza	2134 - 6100
Granito	4575 - 5800
Roca metamórfica	3050 - 7000

Fuente: ASTM D 5777-00 (American Society for Testing and Materials, 2011)

Tabla 14. Valores típicos de V_p y V_s

Tipo de suelo	Velocidad de onda de compresión V_p (m/s)	Velocidad de onda de corte V_s (m/s)
Arena fina	300	90 - 150
Arena densa	460	230
Grava	762	180 - 215
Arcilla húmeda	1220 - 1370	150
Granito	3960 - 5490	2130 - 3350
Arenisca	1370 - 3960	610 - 2130

Fuente: (Das, Principles of Soil Dynamics, 2011)

En la tabla 15 se presentan los valores obtenidos de V_p y V_s , determinados a partir del ensayo de sísmica de refracción MASW, para las cuatro líneas sísmicas realizadas en la zona de estudio.

Tabla 15. Valores de V_p y V_s obtenidos de las líneas sísmicas

Línea Sísmica	Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Tipo de Suelo
LS1	0 - 3,40	3,40	423,00	229,00	Arena densa
	3,40 - 7,00	3,60	539,00	321,00	Grava o Arena seca
LS2	0 - 2,50	2,50	410,00	250,00	Arena densa
	2,50 - 7,00	4,50	465,00	280,00	Arena densa
LS3	0 - 2,50	2,50	325,00	200,00	Arena fina
	2,50 - 3,60	1,10	425,00	231,00	Arena densa
	3,60 - 7,00	3,40	485,00	298,00	Grava o Arena seca
LS4	0 - 2,00	2,00	370,00	228,00	Arena fina
	2,00 - 5,00	3,00	418,00	253,00	Arena densa
	5,00 - 7,00	2,00	458,00	265,00	Arena densa

Fuente: El Autor

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 Resultados métodos de exploración directa

En la tabla 16 se indican los resultados de los módulos de elasticidad (E) y relación de Poisson (μ), obtenidos a través de la curva esfuerzo-deformación de los ensayos triaxiales UU.

Para determinar el módulo de elasticidad se empleó el método gráfico de la secante tal como se indica en la sección 2.2.1, mientras que en la sección 2.2.2 la formulación utilizada para hallar el coeficiente de Poisson.

Tabla 16. *Módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson obtenidos por medio exploración directa*

Calicata	Estrato	Ensayo	Profundidad. (m)	Esfuerzo Principal σ_1 (KN/m ²)	Presión de cámara σ_3 (KN/m ²)	Módulo de Elasticidad E (KN/m ²)	Coeficiente de Poisson μ (-/-)
1	E2	1	3,00	81,66	10,00	33473,53	0,31
		2	3,00	810,47	20,00	16187,23	0,27
		3	3,00	1143,74	40,00	28830,53	0,33
2	E2	1	3,00	1160,98	20,00	48558,20	0,24
		2	3,00	1387,21	40,00	60756,69	0,33
		3	3,00	2472,33	80,00	61159,67	0,26

Fuente: El Autor

En la tabla 17 y 18 se indican los valores correspondientes al coeficiente de Balasto (k_s), a partir del módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson y los tamaños de cimentación de 1.00 m y 1.50 m de base cuadrada.

Para su cálculo se empleó la formulación mencionada en la sección 2.2.4.

Tabla 17. Coeficiente de balasto a partir de E , μ y base de cimentación cuadrada de 1.00 m

Calicata	Estrato	Ensayo	Profundidad. (m)	Base (m)	Módulo de Elasticidad E (KN/m ²)	Coefficiente de Poisson μ (-/-)	Coefficiente de Balasto k_s (KN/m ³)
1	E2	1	3,00	1,00	33473,53	0,31	37032,34
		2	3,00	1,00	16187,23	0,27	17460,07
		3	3,00	1,00	28830,53	0,33	32353,87
2	E2	1	3,00	1,00	48558,20	0,24	51526,10
		2	3,00	1,00	60756,69	0,33	68181,67
		3	3,00	1,00	61159,67	0,26	65593,81

Fuente: El Autor

Tabla 18. Coeficiente de balasto a partir de E , μ y base de cimentación cuadrada de 1.50 m

Calicata	Estrato	Ensayo	Profundidad. (m)	Base (m)	Módulo de Elasticidad E (KN/m ²)	Coefficiente de Poisson μ (-/-)	Coefficiente de Balasto k_s (KN/m ³)
1	E2	1	3,00	1,50	33473,53	0,31	24688,23
		2	3,00	1,50	16187,23	0,27	11640,05
		3	3,00	1,50	28830,53	0,33	21569,24
2	E2	1	3,00	1,50	48558,20	0,24	34350,74
		2	3,00	1,50	60756,69	0,33	45454,45
		3	3,00	1,50	61159,67	0,26	43729,21

Fuente: El Autor

4.2 Resultados métodos de exploración indirecta

La obtención de los módulos elásticos del subsuelo, módulo de elasticidad (E), coeficiente de Poisson (μ), coeficiente de Balasto (k_s), se realizó a través de sísmica de refracción, ensayo MASW, a partir de formulaciones y correlaciones de las velocidades de onda V_p y V_s , mencionadas en el apartado 2.4.2.3.

En la tabla 19 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros elásticos del subsuelo en la zona de estudio por medio de sísmica de refracción.

Tabla 19. *Parámetros elásticos del Subsuelo E, μ , k_s obtenidos a través de V_p y V_s . Ensayo MASW, sísmica de refracción*

Línea Sísmica	Profundidad. (m)	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Peso Volumétrico γ (KN/m ³)	Capacidad de carga q_f (KN/m ²)	Módulo de Corte G (KN/m ²)	Coefficiente de Balasto k_s (KN/m ³)	Coefficiente de Poisson μ (-/-)	Módulo de Elasticidad E (KN/m ²)
LS1	3,00	423,00	229,00	14,51	332,33	77577,72	13293,23	0,29	20057,00
LS2	3,00	465,00	280,00	14,86	416,07	118757,29	16642,99	0,22	28871,83
LS3	3,00	425,00	231,00	14,53	335,63	79031,85	13425,15	0,29	20395,80
LS4	3,00	418,00	253,00	14,47	366,07	94409,58	14642,81	0,21	22864,66

Fuente: El Autor

De igual manera se determinó parámetros mecánicos del suelo como el ángulo de fricción (ϕ) y la cohesión (c) a partir de las velocidades de onda V_p y V_s como se indica en el apartado 2.4.2.3. La tabla 20 muestra los resultados obtenidos de dichos parámetros.

Tabla 20. *Valores de c y ϕ , determinados a través de V_p y V_s mediante sísmica de refracción a 3.00 m de profundidad.*

Línea Sísmica	Profundidad (m)	V_p (m/s)	V_s (m/s)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)
LS1	3,00	423,00	229,00	0,020	27,97
LS2	3,00	465,00	280,00	0,023	27,82
LS3	3,00	425,00	231,00	0,020	27,96
LS4	3,00	418,00	253,00	0,023	27,82

Fuente: El Autor

4.3 Correlación y análisis de resultados

Las tablas 21 a la 24 presentan las correlaciones de los resultados obtenidos por métodos directos e indirectos.

Tabla 21. Correlación de resultados, clasificación de suelo, entre calicata 1 y línea sísmica 1 y 2

Tipo de Exploración										
Exploración Directa					Exploración Indirecta					
					Sísmica de refracción MASW					
					LS1			LS2		
Calicata	Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Clasificación de suelo	Descripción	Profundidad (m)	V_s (m/s)	Tipo de suelo	Profundidad (m)	V_s (m/s)	Tipo de suelo
1	0,40	0,40	Capa Vegetal	-	3,00	229,00	Arena densa	2,50	250,00	Arena densa
	1,25	0,85	SP	Arena mal graduada						
	3,00	1,75	SP-SM	Arena mal graduada con limo				3,00	280,00	Arena densa

Fuente: El Autor

Tabla 22. Correlación de resultados, clasificación de suelo, entre calicata 1 y línea sísmica 3 y 4

Tipo de Exploración										
Exploración Directa					Exploración Indirecta					
					Sísmica de refracción MASW					
					LS3			LS4		
Calicata	Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Clasificación de suelo	Descripción	Profundidad (m)	V_s (m/s)	Tipo de suelo	Profundidad (m)	V_s (m/s)	Tipo de suelo
1	0,40	0,40	Capa Vegetal	-	2,50	200,00	Arena fina	2,00	228,00	Arena fina
	1,25	0,85	SP	Arena mal graduada						
	3,00	1,75	SP-SM	Arena mal graduada con limo	3,00	231,00	Arena densa	3,00	253,00	Arena densa

Fuente: El Autor

Tabla 23. Correlación de resultados, clasificación de suelo, entre calicata 2 y línea sísmica 1 y 2

Tipo de Exploración										
Exploración Directa					Exploración Indirecta					
					Sísmica de refracción MASW					
					LS1			LS2		
					Profundidad (m)	V _s (m/s)	Tipo de suelo	Profundidad (m)	V _s (m/s)	Tipo de suelo
Calicata	Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Clasificación de suelo	Descripción	Profundidad (m)	V _s (m/s)	Tipo de suelo	Profundidad (m)	V _s (m/s)	Tipo de suelo
2	0,28	0,28	Capa Vegetal	-	3,00	229,00	Arena densa	2,50	250,00	Arena densa
	0,90	0,62	SP	Arena mal graduada						
	3,00	2,10	SP-SM	Arena mal graduada con limo				3,00	280,00	Arena densa

Fuente: El Autor

Tabla 24. Correlación de resultados, clasificación de suelo, entre calicata 2 y línea sísmica 3 y 4

Tipo de Exploración										
Exploración Directa					Exploración Indirecta					
					Sísmica de refracción MASW					
					LS3			LS4		
					Profundidad (m)	V _s (m/s)	Tipo de suelo	Profundidad (m)	V _s (m/s)	Tipo de suelo
Calicata	Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Clasificación de suelo	Descripción	Profundidad (m)	V _s (m/s)	Tipo de suelo	Profundidad (m)	V _s (m/s)	Tipo de suelo
2	0,28	0,28	Capa Vegetal	-	2,50	200,00	Arena fina	2,00	228,00	Arena fina
	0,90	0,62	SP	Arena mal graduada						
	3,00	2,10	SP-SM	Arena mal graduada con limo				3,00	231,00	Arena densa

Fuente: El Autor

Las tablas 25 presentan las correlaciones de los resultados obtenidos por métodos directos e indirectos, con respecto a los parámetros mecánicos del suelo, ángulo de fricción (ϕ) y la cohesión (c).

Tabla 25. Correlación de resultados de parámetros mecánicos del suelo c y ϕ , a través de ensayos de corte directo, triaxial y sísmica de refracción

Exploración Directos						Exploración Indirectos				
Ensayo	Calicata	Estrato	Profu.(m)	Cohesión C (kg/cm ²)	Angulo de fricción f (°)	Ensayo	Línea Sísmica	Profu.(m)	Cohesión C (kg/cm ²)	Angulo de fricción f (°)
Corte Directo	1	E2	3,00	0,60	64,28	Sísmica de refracción	LS1	3,00	0,020	27,968
	2	E2	3,00	0,25	49,67		LS2	3,00	0,023	27,823
Triaxial UU	1	E2	3,00	0,61	63,00		LS3	3,00	0,020	27,963
	2	E2	3,00	0,30	69,00		LS4	3,00	0,023	27,816

Fuente: El Autor

Las tablas 26 a la 29 presentan las correlaciones de los resultados obtenidos por métodos directos e indirectos, con respecto a los parámetros elásticos de las capas de subsuelo determinados en la zona de estudio, módulo de elasticidad (E), coeficiente de Poisson (μ), coeficiente de Balasto (k_s).

Tabla 26. Correlación de resultados, entre calicata 1, línea sísmica 1 y 2, valores de parámetros elásticos para suelos arenosos

Exploración Directa (Triaxial UU)				Exploración Indirecta (Sísmica de refracción)						Parámetros elásticos del suelo para arenas			
Muestra: Calicata 1, Estrato 2				LS1			LS2			Fuente: (Das, 2012)			Fuente: (Das, 2012)
Probeta	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	Tipo de suelo	E (KN/m ²)	μ (-/-)	k _{0,3} (KN/m ²)
1	33473,5 3	0,31	37032,34	20057,00	0,29	13293,23	28871,83	0,22	16642,99	Arena Suelta	10000 a 25000	0,2 a 0,40	8000 a 25000
2	16187,2 3	0,27	17460,07							Arena semi-densa	15000 a 30000	0,25 a 0,40	25000 a 125000
3	28830,5 3	0,33	32353,87							Arena Limosa	10000 a 20000	0,20 a 0,40	-

Fuente: El Autor

Tabla 27. Correlación de resultados, entre calicata 1, línea sísmica 3 y 4, valores de parámetros elásticos para suelos arenosos

Exploración Directa (Triaxial UU)				Exploración Indirecta (Sísmica de refracción)						Parámetros elásticos del suelo para arenas			
Muestra: Calicata 1, Estrato 2				LS3			LS4			Fuente: (Das, 2015)			Fuente: (Das, 2012)
Probeta	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	Tipo de suelo	E (KN/m ²)	μ (-/-)	k _{0,3} (KN/m ²)
1	33473,53	0,31	37032,34	20395,80	0,29	13425,15	22864,66	0,21	14642,81	Arena Suelta	10000 a 25000	0,2 a 0,40	8000 a 25000
2	16187,23	0,27	17460,07							Arena semi-densa	15000 a 30000	0,25 a 0,40	25000 a 125000
3	28830,53	0,33	32353,87							Arena Limosa	10000 a 20000	0,20 a 0,40	-

Fuente: El Autor

Tabla 28. Correlación de resultados, entre calicata 2, línea sísmica 1 y 2, valores de parámetros elásticos para suelos arenosos

Exploración Directa (Triaxial UU)				Exploración Indirecta (Sísmica de refracción)						Parámetros elásticos del suelo para arenas			
Muestra: Calicata 2, Estrato 2				LS1			LS2			Fuente: (Das, 2015)			Fuente: (Das, 2012)
Probeta	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	Tipo de suelo	E (KN/m ²)	μ (-/-)	k _{0,3} (KN/m ²)
1	48558,20	0,24	51526,10	20057,00	0,29	13293,23	28871,83	0,22	16642,99	Arena Suelta	10000 a 25000	0,2 a 0,40	8000 a 25000
2	60756,69	0,33	68181,67							Arena semi-densa	15000 a 30000	0,25 a 0,40	25000 a 125000
3	61159,67	0,26	65593,81							Arena Limosa	10000 a 20000	0,20 a 0,40	-
										Arena Densa	35000 a 55000	0,30 a 0,45	125000 a 375000

Fuente: **El Autor**

Tabla 29. Correlación de resultados, entre calicata 2, línea sísmica 3 y 4, valores de parámetros elásticos para suelos arenosos

Exploración Directa (Triaxial UU)				Exploración Indirecta (Sísmica de refracción)						Parámetros elásticos del suelo para arenas			
Muestra: Calicata 2, Estrato 2				LS3			LS4			Fuente: (Das, 2015)			Fuente: (Das, 2012)
Probeta	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	E (KN/m ²)	μ (-/-)	ks (kN/m ³)	Tipo de suelo	E (KN/m ²)	μ (-/-)	k0,3 (KN/m ²)
1	48558,20	0,24	51526,10	20395,80	0,29	13425,15	22864,66	0,21	14642,81	Arena Suelta	10000 a 25000	0,2 a 0,40	8000 a 25000
2	60756,69	0,33	68181,67							Arena semi- densa	15000 a 30000	0,25 a 0,40	25000 a 125000
3	61159,67	0,26	65593,81							Arena Limosa	10000 a 20000	0,20 a 0,40	-
				Arena Densa	35000 a 55000	0,30 a 0,45	125000 a 375000						

Fuente: El Autor

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- a) La geología del sector determina la presencia de la formación Llaqueo, dentro de la zona de estudio se denota la existencia de depósitos coluviales compuestos por arcillas, arenas de grano fino o grueso, limos y gravas. A partir de la inspección visual y la clasificación del suelo realizado en el laboratorio se determinó que el material predominante son arenas de color amarillo, con tonalidades claras, de grano fino.
- b) De la exploración directa se estableció la existencia de tres estratos principales: El primero se trata de una capa vegetal de baja profundidad, con presencia de materia orgánica; El segundo un estrato arenoso, clasificado por medio del SUCS como SP, arena mal graduada; Y una tercera capa de material arenoso identificado como SP-SM, arena mal graduada con limo.
- c) A partir de la exploración indirecta mediante sísmica de refracción ensayo MASW se determinaron los valores de Velocidad de onda superficial para cada línea sísmica ejecutada a una profundidad de 3.00 m siendo estos, $V_s = 229$ m/s, $V_s = 280$ m/s, $V_s = 231$ m/s, $V_s = 253$ m/s, para las líneas sísmicas LS1, LS2, LS3 y LS4 respectivamente. Pudiendo resolver en base a las velocidades de onda superficial que se trata de una arena densa.
- d) El módulo de elasticidad determinado por medio de las pruebas triaxiales en la calicata 1 se encuentran dentro de los valores típicos para Arenas suelta y arenas limosas, $E = 10000$ a 25000 kN/m², resultados consecuentes con el tipo de material de la zona de estudio. Estos son valores muy cercanos a los obtenidos de la sísmica

de refracción con $E = 20000$ A 28000 kN/m^2 , lo cual indica gran confiabilidad en los resultados alcanzada por la exploración indirecta.

- e) El módulo de elasticidad obtenido para la calicata 2 se halla dentro de los valores aceptables para arenas densas, $E = 35000 \text{ kN/m}^2$ a 55000 kN/m^2 , estos son concordantes con materiales arenoso, y también presentan una relación admisible con los datos obtenidos de la sísmica de refracción.
- f) La variación en los valores del módulo de elasticidad obtenidos a partir de pruebas triaxiales puede referirse principalmente al tipo y calidad de espécimen ensayado, el proceso de preparación de la muestra o la calibración y el estado del equipo.
- g) A través de la sísmica de refracción se determinaron los módulos de elasticidad para cada línea sísmica, por medio de las velocidades de onda V_p y V_s , estos se encuentran dentro de los límites típicos para arenas blandas y arenas limosas, con valores similares entre cada línea. Sin embargo, para obtener estos resultados se debió realizar una corrección al incluir un factor de $1/10$ que se multiplica a la expresión del módulo de elasticidad, $E = 2(1+\mu) G$. Encontrando de esta manera concordancia con el tipo de material identificado con la exploración directa.
- h) Tanto los métodos directos e indirectos utilizados en este estudio presenta una concordancia en cuanto al módulo de elasticidad se refiere, ya que de los resultados obtenidos a pesar de las variaciones que estos presentan entre uno y otro método ambos coinciden en que este parámetro elástico del suelo se encuentra dentro de los valores típicos representativos en los suelos arenosos, lo que se ve traducido en una aceptación y confiabilidad de la sísmica de refracción frente a una exploración directa.

- i) Se determinó por medio de exploración directa resultados para el coeficiente de Poisson, $\mu = 0,21$ a $0,33$. Mientras que por exploración indirecta valores de, $\mu = 0,21$ a $0,29$. Estos se encuentran dentro de los parámetros aceptables para este coeficiente en lo que al suelo se refiere. Para el material determinado en la zona de estudio el coeficiente de Poisson debe encontrarse entre $0,2$ y $0,4$. Lo cual indica que a través de la sismica de refracción se obtienen valores concordantes y confiables a los obtenidos por la exploración directa.
- j) El módulo de Balasto k_s , no es un parámetro propio de un tipo de suelo en particular ya que su determinación está condicionada al dimensionamiento, la profundidad de la cimentación además de intervenir los módulos de elasticidad y coeficiente de Poisson del suelo, sin embargo mediante la exploración directa y las sismica de refracción se puede establecer una similitud bastante aceptable que permite relacionar los resultados obtenidos por estos dos métodos.
- k) Los resultados obtenidos de la sismica de refracción en este estudio de forma general se muestran consistentes sin la presencia de variaciones significativas entre los valores obtenidos de las líneas sísmicas en comparación con los obtenidos de los métodos convencionales. De esta manera se podría inferir que los métodos de exploración indirecta muestran un alto grado de confiabilidad al momento de determinar los parámetros elásticos de las capas del subsuelo, no obstante siempre será recomendable la utilización de métodos de exploración directa.

5.2 Recomendaciones

- a) Como recomendación general a pesar de la confiabilidad de los resultados presentados en este estudio mediante la exploración indirecta, es necesario realizar exploraciones directas para corroborar los resultados obtenidos de uno u otro método.
- b) Tanto la exploración directa como la indirecta muestran buena efectividad al obtener resultados a cerca de los parámetros del suelo, sin embargo también podría existir un condicionamiento a la hora de elegir uno de los métodos, siendo este el factor económico por lo cual sería recomendable realizar un análisis costo beneficio al aplicar estas dos metodologías.
- c) En este estudio se realizó la obtención de muestras inalteradas de terreno con la finalidad de determinar los parámetros elásticos del suelo, en futuros estudios se podría determinar los mismos parámetros pero en muestras alteradas de material y verificar si los valores que se obtengan se encuentran en rangos más cercanos o lejanos en comparación a los obtenidos por la geofísica.
- d) Puesto que en esta investigación se realizó una corrección al determinar el módulo de elasticidad para el caso de suelos arenosos como el que se presentó en la zona de estudio, sería recomendable continuar un análisis en otro tipo de suelo y verificar si existe incremento o disminución en el factor de corrección para diferentes suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, A. (2003). Geofísica aplicada en los proyectos basicos de ingeniería civil. Querétaro, México. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt229.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2011). Sandasd Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation (ASTM D 5777-00).
- Aponte, A. (2011). *Evaluación de Métodos No Convencionales de Caracterización Geotécncna* [Archivo PDF]. PontificIa Universidad Javeriana, Bogota D.C., Colombia.
- Araca, F., & Gómez, L. (2019). *Influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento de las viviendas aporticadas con zapatas aisladas en la ciudad de Juliaca*[Archivo PDF]. Universidad Peruana Unión, Juliaca.
- Barreto, Á., & Cárdenas , L. (2015). *Cartografía geológica y caracterización de las arcillas en el contrato de concesión IHL-09581 Municipio de Chivata - Departamento de Boyacá*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/jspui/bitstream/001/1915/1/TGT-627.pdf>
- Bertoli, D. (2017). *Modelado numérico del ensayo dilatómetro de Marchetti*. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23084/3560900231635UTFSM.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- Bowles, J. (1978). *Propiedades Geofísicas de los Suelos* [Archivo PDF]. Bogota: McGRAW-HILL Mexico, S.A. DE C.V.
- Cabral, A., & Holguin, R. (2014). *Relación entre Módulo de Subrasante y Esfuerzo Admisible en Suelos Arcillosos*[Archivo PDF]. Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, Santo Domingo, D.N.
- Canqui, T. (2013). *Sísmica de refracción y microtemores para caracterización de parámetros dinámicos superficiales en un estudio geotécnico en la quebrada Caramolle, Distrito de Pocollay - Tacna*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. Obtenido de redi.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/2974/183_2013_canqui_anquise_tb_fia_g_geologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Casanova, C. (2018). *Aplicación de geo estadística para analizar la relación de resistencia de punta entre los ensayos PANDA Y CPT en suelos granulares*. Universidad Técnica Federico Santa María, VALPARAÍSO. Obtenido de

<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42453/3560900255119UTFSM.pdf?sequence=1>

- Castrechini, A. (2019). *Combinación de métodos geofísicos para estudios de suelo en un sector de Quito, Ecuador*. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Arianna-Castrechini/project/COMBINACION-DE-METODOS-GEOFISICOS-PARA-ESTUDIOS-DE-SUELO-EN-UN-SECTOR-DE-QUITO-ECUADOR/attachment/5c505499cfe4a781a57aee3a/AS:720401076326401@1548768409259/download/AriannaCastrechini_Proyec
- Correia, N. (2015). *Obtención del perfil de velocidad de onda de corte mediante método MASW y comparacion con ensayo tipo Down Hole en estaciones sismológicas de zona central*. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Obtenido de repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133426/Obtencion-de-perfil-de-velocidad-de-onda-de-corte-mediante-metodo....pdf?sequence=1
- Cortés, J. (2010). *Estudio exploratorio para la determinación del coeficiente de balasto a partir de ensayos en laboratorio para suelos cohesivos*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6149/estudio_exploratorio_determinaci%C3%B3n_coeficiente_balasto.pdf?sequence=1
- Das, B. (2011). *Principles of Soil Dynamics* [Archivo PDF]. Stamford: Cengage Learning.
- Das, B. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* [Archivo PDF]. México, D.F., México: Cengage Learning Editores, S.A.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* [Archivo PDF]. Mexico, D.F., Mexico: Cengage Learning Editores, S.A.
- Flor, A. (2016). *Determinación de ángulo de fricción y cohesión del suelo mediante correlaciones obtenidas en los ensayos de plasticidad, módulo de elasticidad Y NSPT de suelos de tres sectores de la ciudad de Quito* [Archivo PDF]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN CUENCA. (2015). Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca [Archivo PDF]. 981. Cuenca, Ecuador.
- GAD PARROQUIAL DE RICAURTE. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Ricaurte Diagnostico [Archivo PDF]. Cuenca, Ecuador.

- Gómez, L., & Guillyn, W. (2015). *Determinación de la variación de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos compresibles en condición natural y estabilizados con cemento*. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Ocaña, Colombia. Obtenido de repositorio.ufpso.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/1143/27958.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Herrera, P., & Niño, L. (2015). *Estimación de la correlación adecuada para la resistencia no drenada de suelos de Piedemonte de los Cerros Orientales a partir del ensayo de veleta (VST)*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2435/1/ESTIMACION%20DE%20LA%20CORRELACION%20ADECUADA%20PARA%20LA%20RESISTENCIA%20NO%20DRENADA%20DE%20SUELOS%20DE%20PIEDEMONTEDe%20.pdf>
- Herrera, V. (2013). *Propuesta de una fuente que emplea audio para exploración sísmica de refracción somera*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. Obtenido de <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/903/1/191461.pdf>
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mécanica de suelos I: Fundamentos de la Mécanica de Suelos*. México, D.F., México: LIMUSA, S.A. de C.V. Obtenido de https://suelos.milaulas.com/pluginfile.php/128/mod_resource/content/1/Mecanica%20de%20suelos%20-%20Juarez%20Badillo.pdf
- Lambe, W., & Whitman, R. (2004). *Mecánica de suelos*. México, D.F.: LIMUSA, S.A. Obtenido de https://www.academia.edu/36677655/Mecanica_de_Suelos_lambe
- Lazcano, S. (2017). *Caracterización de suelos arenosos mediante análisis de ondas de superficie*. Academia de Ingeniería México, Ciudad de México, México. Obtenido de <http://www.ai.org.mx/ai/archivos/coloquios/3/Caracterizacion%20de%20Suelos%20Arenosos%20Mediante%20Analisis%20de%20Ondas%20de%20Superficie.pdf>
- Linares, R., Brusi, D., Pallí, L., Roqué, C., Almanza, X., Cebriá, A., . . . Clapés, S. (2002). Métodos de reconocimiento del subsuelo. *Enseñanza de las ciencias de la tierra*, 10(1), 61-72. Obtenido de <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/88760/132929>
- López, J., & Mejía, J. (2008). *Aplicación del método de refracción sísmica para la determinación de velocidades de ondas P* [Archivo PDF]. Universidad del Salvador, Ciudad Universitaria, El Salvador.

- Louie, J. (2001). Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth from Refraction Microtremor Arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91(2), 347-364. doi:10.1785/0120000098
- Macedo, J. (2018). *Análisis de productividad de la línea de refracción sísmica para la optimización del estudio de mecánica de suelos en Villa El Salvador, Lima – 2018* [Archivo PDF]. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Mendoza, G. (2019). *Determinación del basamento hidrogeológico en el sector sur de la Cuenca Interserrana mediante sondeos eléctricos verticales*. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/98501/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Navarro, K. (2019). *Comparación del módulo de elasticidad en las arcillas normalmente consolidadas en estado natural y estado remoldeado mediante el ensayo de consolidación unidimensional*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3967/navarro-chancan-kevin-martin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN . (2015). *Geotécnia y Cimentaciones*. Ecuador [Archivo PDF].
- Ochoa, F. (2007). *Caracterización geotécnica a través del uso de ondas Rayleigh*. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/102899/ochoa_fc.pdf?sequence=3
- Ordoñez, J., & Salinas, C. (2019). *Correlación entre el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y la resistencia a la compresión simple, en los suelos de comportamiento "cohesivos" en la zona de Racar, en la ciudad de Cuenca*. UNIVERSIDAD DEL AZUAY, CUENCA.
- Parra, A. (2016). *Georeferenciación, analisis y funcion del patrimonio toponimico del cantón Cuenca: Parroquia rural de Ricaurte*. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Pazmiño, L. (2017). *Velocidades de onda Vp y Vs y su relación con los valores del ángulo de fricción interna, cohesión y NSPT para los suelos de Sangolquí* [Archivo PDF]. Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador.
- Peña, J. (2015). *Aplicación de sondeos eléctricos verticales para la estimación de recursos minerales de Barita*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. Obtenido de

<https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/8399/470415T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Piedra, A. (2017). Estudio ambiental (ExPost) del Sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Cuenca en su etapa de operación y mantenimiento [Archivo PDF]. Cuenca, Ecuador.
- Pincay, R. (2020). *Propuesta para evaluación de estabilidad de taludes en rellenos sanitarios, según la clasificación de suelos ASTM-D 2487*. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2419/1/19%20PINLAY%20MAC%20C3%20DAS%20ROGER%20ALEJANDRO.pdf>
- Rosales, E. (2014). *Determinación de la deformación elástica y el módulo de elasticidad en suelos expansivos mediante ensayos de expansión libre y consolidación*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1834/P33.R68-T.pdf?sequence=1>
- Salas, O. (2011). Ensayos triaxiales para suelos. *Métodos y Materiales*, 1(1), 14-24. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/download/8391/7925>
- Salvá, P. (2014). *Comportamiento mecánico de los suelos saprolíticos para el diseño de cimentaciones profundas* [Archivo PDF]. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Suárez, L. (2017). *Optimización de parámetros para la adquisición de datos medidos In situ por medio del método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)*. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23575/3560900258445UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tezcan, S., Ozdemir, Z., & Keceli, A. (2009). Seismic Technique to Determine the Allowable Bearing Pressure for Shallow Foundations in Soils and Rocks [Archivo PDF]. *VERSITA*, 57(2), 400-412.
- Uday, F. (2010) *Expansión urbana y su incidencia en los sistemas de producción agrícola en los sectores de Mayancela y Ricaurte* [Archivo PDF]. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Velásquez, A. (2015). *Caracterización geotécnica del proyecto central hidroeléctrica Palmira con tomografía sísmica de refracción y perforaciones mecánicas, ubicado en la provincia de Pichincha* [Archivo PDF]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.

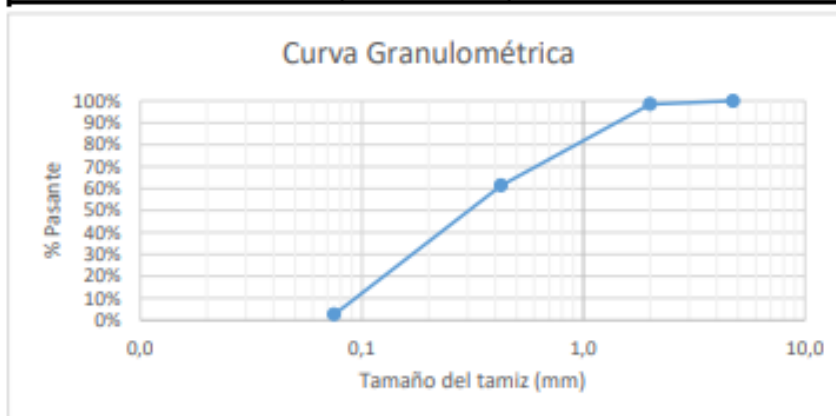
Villilli, N. (2018). *Caracterización geotécnica de los suelos del volcánico SENCCA, mediante refracción sísmica y análisis de ondas superficiales (MASW), en el A.A.H.H Villa Florida del Distrito de Yura-Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. Obtenido de repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6297/GFvivanf.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 13/09/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS
Descripción: Calicata 1: Estrato 1
Ensayo: Granulometria
P. Recipiente 541,8 g. % de Humedad 21,21%
P. Recí+Mues 608,1 g.
P. muestra 66,3 g.

GRANULOMETRÍA					
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1"	25,400	0,00	0,00%	0,00	100,00%
3/4"	19,100	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	9,520	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/4"	6,350	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
4	4,750	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
10	2,000	1,00	1,51%	1,51%	98,49%
40	0,425	24,60	37,10%	38,61%	61,39%
200	0,075	39,00	58,82%	97,44%	2,56%
Fondo		1,70	2,56%	100,00%	
TOTAL		66,30			



D10	D30	D60	Cu	Cc
0,0934	0,168	0,4080	4,368	0,745

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos Gonzales; Sr. Atanacio Jara
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil

Solicitante: Juan Monge

Fecha: 13/09/2021

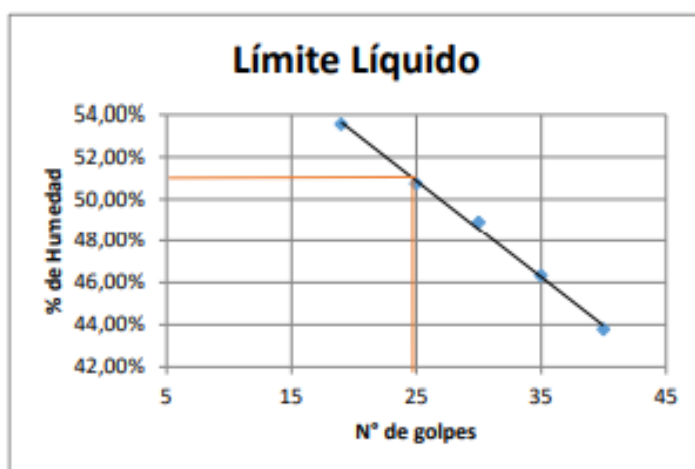
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS

Descripción: Calicata 1: Estrato 1

Ensayo: Límites de Atterberg; Clasificación de Suelo

LÍMITES DE ATTERBERG

N° Recipiente	Límite Líquido					Límite Plástico			
	72	19	3	2	3	1	5	P1	7
N° Golpes	40	35	30	25	19				
Mues.	41,20	26,20	32,30	32,80	32,40	15,70	15,10	16,10	14,40
Mues. Seca+Recipi.	32,40	21,80	25,70	25,90	25,32	15,00	14,40	15,30	13,90
Peso de Recipiente	12,30	12,30	12,20	12,30	12,10	12,40	12,30	12,10	12,10
Peso Mues. Seca	20,10	9,50	13,50	13,60	13,22	2,60	2,10	3,20	1,80
% de Humedad	43,78%	46,32%	48,89%	50,74%	53,56%	26,92%	33,33%	25,00%	27,78%



RESULTADOS	
L.L	50,75%
L.P	26,57%
I.P	24,18%

% Gravas	0%
% Arenas	97,44%
% Finos	2,56%

CLASIFICACIÓN DEL SUELO		
Indice de Grupo IG	-1,76	0
Clasificación ASHTO	A-2-7(0)	
Clasificación SUCS	SP	
	Grava y arena limosa o arcillosa	
	Arena Mal Graduada	

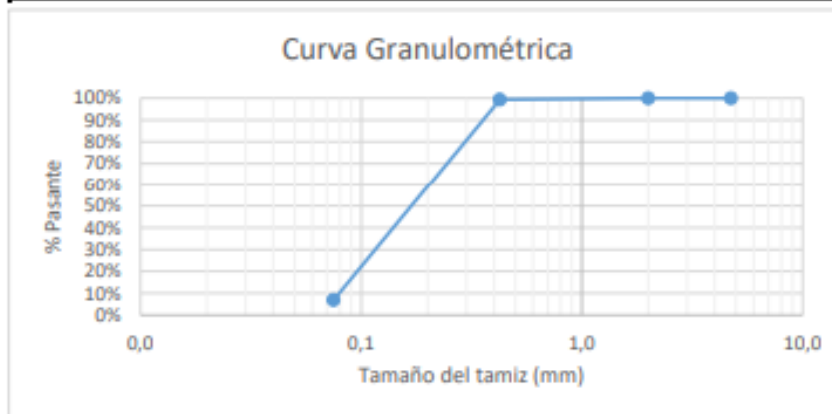
Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos Gonzales; Sr. Atanacio Jara
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 13/09/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS
Descripción: Calicata 1: Estrato 2
Ensayo: Granulometría
P. Recipiente 527,20 g. % humedad 18,87%
P. Recí+Mues 736,20 g.
P. muestra 209,00 g.

GRANULOMETRÍA					
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1"	25,400	0,00	0,00%	0,00	100,00%
3/4"	19,100	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	9,520	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/4"	6,350	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
4	4,750	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
10	2,000	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
40	0,425	1,40	0,67%	0,67%	99,33%
200	0,075	193,20	92,44%	93,11%	6,89%
Fondo		14,40	6,89%	100,00%	
TOTAL		209,00			



D10	D30	D60	Cu	Cc
0,0795	0,116	0,2032	2,555	0,829

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

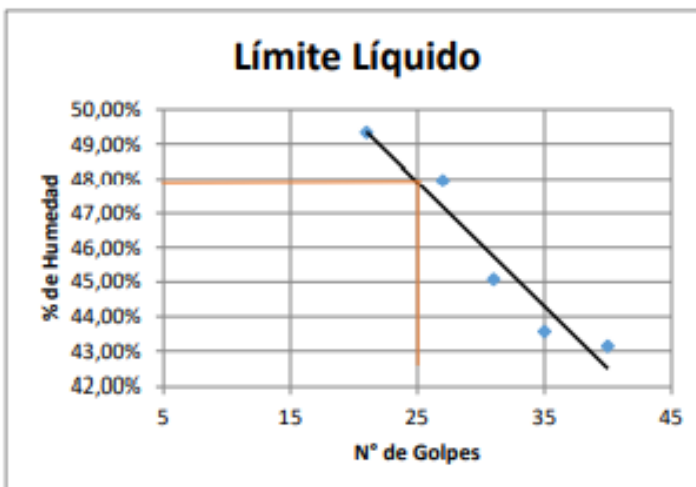
Ing. Marcos Gonzales; Sr. Atanacio Jara
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 13/09/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS
Descripción: Calicata 1: Estrato 2
Ensayo: Límites de Atterberg; Clasificación de Suelo

LÍMITES DE ATTERBERG

	Límite Líquido					Límite Plástico			
	6	20	23	24	5	63	202	56	222
N° Recipiente	6	20	23	24	5	63	202	56	222
N° Golpes	40	35	31	27	21				
Mues. Humeda+Recipi.	36,60	36,50	42,50	35,60	44,40	16,60	16,00	16,40	16,60
Mues. Seca+Recipi.	32,20	32,10	36,10	30,90	37,00	15,40	14,90	15,40	15,50
Peso de Recipiente	22,00	22,00	21,90	21,10	22,00	12,20	11,60	12,10	12,40
Peso Mues. Seca	10,20	10,10	14,20	9,80	15,00	3,20	3,30	3,30	3,10
% de Humedad	43,14%	43,56%	45,07%	47,96%	49,33%	37,50%	33,33%	30,30%	35,48%



RESULTADOS	
L.L	47,90%
L.P	34,16%
I.P	13,74%

% Gravas	0%
% Arenas	93,11%
% Finos	6,89%

CLASIFICACIÓN DEL SUELO		
Indice de Grupo IG	-0,30	0
Clasificación ASHTO	A-2-7(0)	
Clasificación SUCS	SP-SM	
	Grava y arena limosa o arcillosa	
	Arena Mal Graduada con limos	

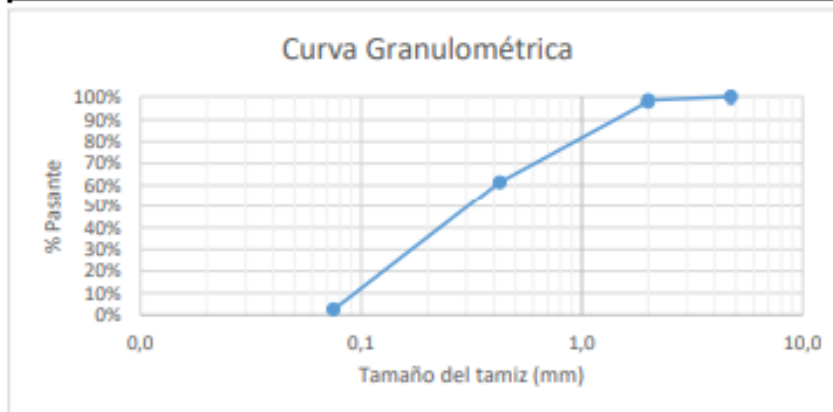
Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos Gonzales; Sr. Atanacio Jara
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 13/09/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS
Descripción: Calicata 2: Estrato 1
Ensayo: Granulometría
P. Recipiente 543,3 g. **% humedad** 20,92%
P. Recí+Mues 609 g.
P. muestra 65,7 g.

GRANULOMETRÍA					
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1"	25,400	0,00	0,00%	0,00	100,00%
3/4"	19,100	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	9,520	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/4"	6,350	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
4	4,750	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
10	2,000	1,10	1,67%	1,67%	98,33%
40	0,425	24,30	36,99%	38,66%	61,34%
200	0,075	38,70	58,90%	97,56%	2,44%
Fondo		1,60	2,44%	100,00%	
TOTAL		65,70			



D10	D30	D60	Cu	Cc
0,0937	0,169	0,4086	4,360	0,745

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos Gonzales; Sr. Atanacio Jara
 Laboratorio

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil

Solicitante: Juan Monge

Fecha: 13/09/2021

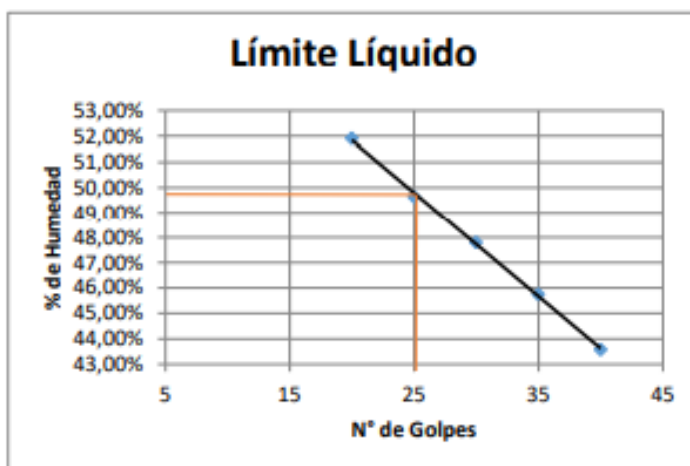
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS

Descripción: Calicata 2: Estrato 1

Ensayo: Límites de Atterberg; Clasificación de Suelos

LÍMITES DE ATTERBERG

N° Recipiente	Límite Líquido					Límite Plástico			
	36	35	202	3	8	6	222	13	9
N° Golpes	40	35	30	25	20				
Mues.	41,10	25,90	32,20	32,70	32,30	15,70	15,10	16,10	14,50
Mues. Seca+Recipi.	32,30	21,60	25,70	25,90	25,50	15,00	14,50	15,30	14,00
Peso de Recipiente	12,10	12,20	12,10	12,20	12,40	12,30	12,10	12,20	12,10
Peso Mues. Seca	20,20	9,40	13,60	13,70	13,10	2,70	2,40	3,10	1,90
% de Humedad	43,56%	45,74%	47,79%	49,64%	51,91%	25,93%	25,00%	25,81%	26,32%



RESULTADOS	
L.L	49,80%
L.P	26,02%
I.P	23,78%

% Gravas	0%
% Arenas	97,56%
% Finos	2,44%

CLASIFICACIÓN DEL SUELO		
Indice de Grupo IG	-2,01	0
Clasificación ASHTO	A-2-7(0)	
Clasificación SUCS	SP	
	Grava y arena arcillosa o limosa	
	Arena Mal Graduada	

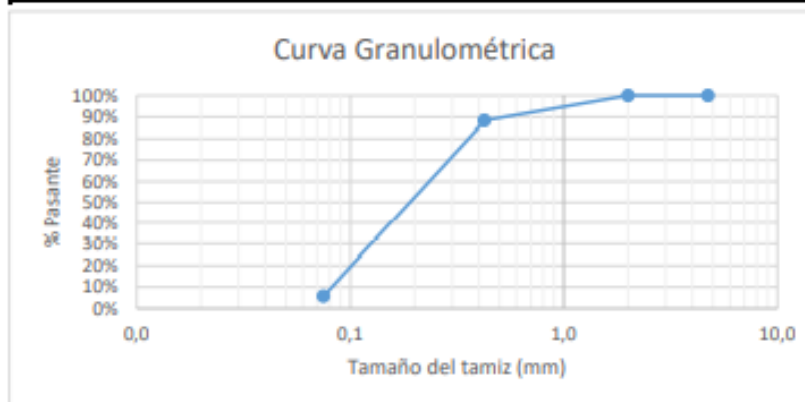
Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos Gonzales; Sr. Atanacio Jara
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 13/09/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS
Descripción: Calicata 2: Estrato 2
Ensayo: Granulometría
P. Recipiente 546,80 g. **% humedad** 15,65%
P. Reci+Mues 627,00 g.
P. muestra 80,20 g.

GRANULOMETRÍA					
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1"	25,400	0,00	0,00%	0,00	100,00%
3/4"	19,100	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	9,520	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1/4"	6,350	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
4	4,750	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
10	2,000	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
40	0,425	9,40	11,72%	11,72%	88,28%
200	0,075	66,20	82,54%	94,26%	5,74%
Fondo		4,60	5,74%	100,00%	
TOTAL		80,20			



D10	D30	D60	Cu	Cc
0,0820	0,125	0,2346	2,860	0,810

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos Gonzales; Sr. Atanacio Jara
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil

Solicitante: Juan Monge

Fecha: 13/09/2021

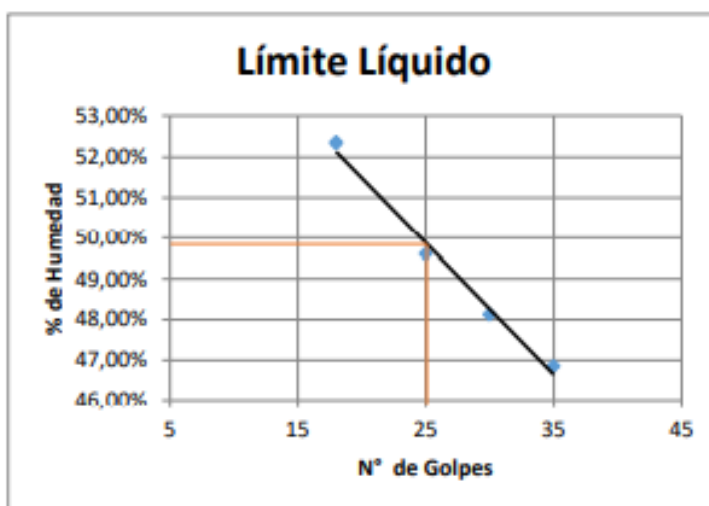
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS

Descripción: Calicata 2: Estrato 2

Ensayo: Límites de Atterberg; Clasificación de suelos

LÍMITES DE ATTERBERG

	Límite Líquido				Límite Plástico			
	3	26	7	11	209	203	8	6
N° Recipiente	3	26	7	11	209	203	8	6
N° Golpes	35	30	25	18				
Mues.	42,10	41,20	43,30	41,70	16,30	14,00	15,00	17,20
Mues. Seca+Recipi.	35,40	34,80	37,20	34,45	15,10	13,40	14,20	16,10
Peso de Recipiente	21,10	21,50	24,90	20,60	11,40	11,40	11,60	12,20
Peso Mues. Seca	14,30	13,30	12,30	13,85	3,70	2,00	2,60	3,90
% de Humedad	46,85%	48,12%	49,59%	52,35%	32,43%	30,00%	30,77%	28,21%



RESULTADOS	
L.L	49,80%
L.P	30,35%
I.P	19,45%

% Gravas	0%
% Arenas	94,26%
% Finos	5,74%

CLASIFICACIÓN DEL SUELO		
Indice de Grupo IG	-0,91	0
Clasificación ASHTO	A-2-7(0)	
Clasificación SUCS	SP-SM	
	Grava y arena limosa o arcillosa	
	Arena Mal Graduada con limos	

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

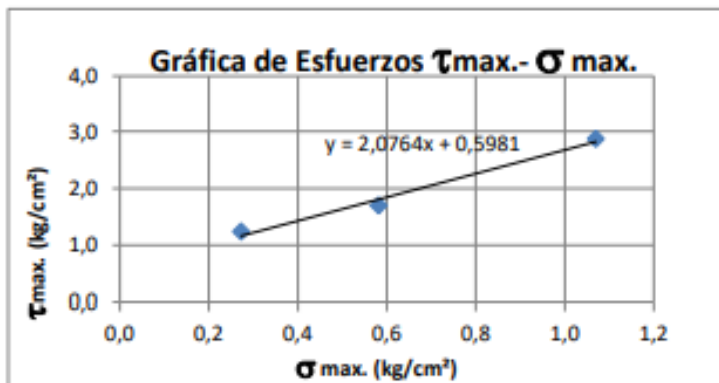
Ing. Marcos Gonzales; Sr. Atanacio Jara
 Laboratorio

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 01/09/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTECNICOS
Descripción: Calicata 1: Estrato 2
Ensayo: Corte Directo

Muestra	Carga Normal. (kg.)	Caraga Normal Max. Relacio 1:10 (kg.)	Carga Cortante Max. (N)	Despla. Horizontal (mm)	Lado Promedio de la muestra (cm)	Area de la Muestra (cm ²)
1	1,00	10,00	443,60	4,77	6,3	39,69
2	2,00	20,00	571,40	8,43	6,3	39,69
3	4,00	40,00	1050,00	3,67	6,3	39,69

Muestra	Area Corregida de la Muestra (cm ²)	Def. Uniaria δ (%)	Esfuerzo Normal σ max(kg/cm ²)	Esfuerzo Cortante τ max(kg/cm ²)
1	36,68	7,57%	0,27	1,23
2	34,38	13,38%	0,58	1,69
3	37,38	5,83%	1,07	2,86



Parametro	
C (kg/cm ²)	0,60
ϕ (°)	64,28

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos Gonzales; Sr Atanacio Jara
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 01/09/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTECNICOS
Descripción: Calicata 1: Estrato 2
Ensayo: Corte Directo

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
P. Anillo+Sue (g)	214,50	265,00	227,50
P. Anillo (g)	82,70	103,30	88,80
P. Recipi+Suelo S (g)	153,40	170,90	172,00
P. Recipiente	52,00	51,00	63,00
Altura Prom. Muestra (cm)	1,73	1,89	1,74
Lado Prom. Muestra (cm)	6,30	6,30	6,30
Area Muestra (cm²)	39,69	39,69	39,69
Volumen Muestra (cm³)	250,047	250,047	250,047
% de Humedad	29,98%	34,86%	27,25%
Densidad Humeda (g/cm³)	0,53	0,65	0,55
Densidad Seca (g/cm³)	0,41	0,48	0,44

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

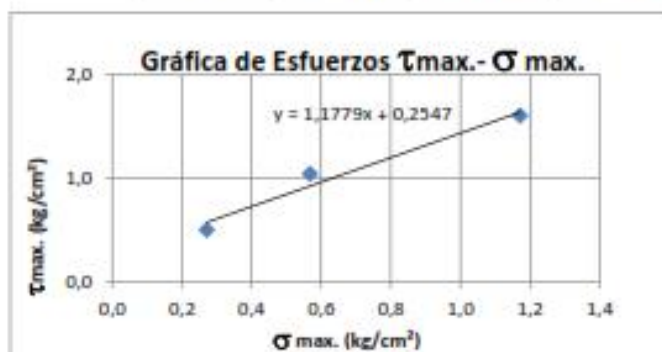
Ing. Marcos Gonzales; Sr Atanacio Jara
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 03/09/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTECNICOS
Descripción: Calicata 2: Estrato 2
Ensayo: Corte Directo

Muestra	Carga Normal. (kg.)	Caraga Normal Max. Relacio 1:10 (kg.)	Carga Cortante Max. (N)	Despla. Horizontal (mm)	Lado Promedio de la muestra (cm)	Area de la Muestra (cm ²)
1	1,00	10,00	180,00	4,64	6,3	39,69
2	2,00	20,00	358,20	7,14	6,3	39,69
3	4,00	40,00	535,00	8,82	6,3	39,69

Muestra	Area Corregida de la Muestra (cm ²)	Def. Uniaria ε (%)	Esfuerzo Normal σ max(kg/cm ²)	Esfuerzo Cortante τ max(kg/cm ²)
1	36,77	7,37%	0,27	0,50
2	35,19	11,33%	0,57	1,04
3	34,13	14,00%	1,17	1,60



Parametro	
C (kg/cm ²)	0,25
φ (°)	49,67

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos Gonzales; Sr Atanacio Jara
 Laboratorio

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 03/09/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTECNICOS
Descripción: Calicata 2: Estrato 2
Ensayo: Corte Directo

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
P. Anillo+Sue (g)	215,40	194,10	244,44
P. Anillo (g)	88,50	82,80	97,90
P. Recipi+Suelo S (g)	167,70	162,40	175,10
P. Recipiente	57,90	67,20	52,90
Altura Prom. Muestra (cm)	1,71	1,71	1,71
Lado Prom. Muestra (cm)	6,30	6,30	6,30
Area Muestra (cm ²)	39,69	39,69	39,69
Volumen Muestra (cm ³)	250,047	250,047	250,047
% de Humedad	15,57%	16,91%	19,92%
Densidad Humeda (g/cm ³)	0,51	0,45	0,59
Densidad Seca (g/cm ³)	0,44	0,38	0,49

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

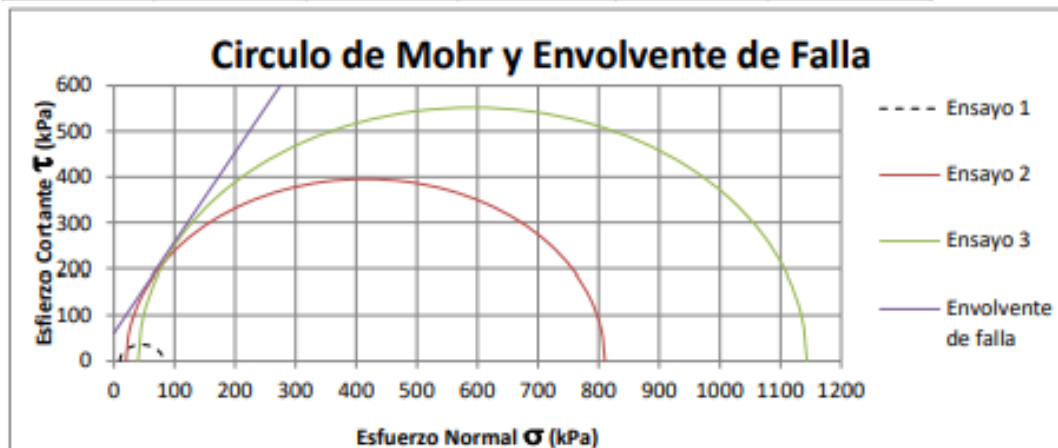
Ing. Marcos Gonzales; Sr Atanacio Jara
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 27/08/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTECNICOS
Descripción: Calicata 1: Estrato 2
Ensayo: Triaxial

Ensayo	Diametro (mm)	Altura (mm)	Presión de Cámara (kPa)	Carga Axial Maxima (Kn)	Deformación (mm)	Area de la Muestra (m ²)
1	45,600	101,950	10,000	0,120	2,530	0,001633
2	46,850	100,700	20,000	1,410	3,380	0,001724
3	46,200	102,700	40,000	1,910	3,210	0,001676

Ensayo	Def. Unitaria	Area Corregida (m ²)	Esfuerzo Principal Mayor σ_1 (kPa)	Esfuerzo Desviador σ_2 (kPa)	Volumen de la muestra (m ³)
1	0,025	0,00167	81,655	71,655	0,000171
2	0,034	0,00178	810,465	790,465	0,000180
3	0,031	0,00173	1143,744	1103,744	0,000178



Parametro	
ϕ (°)	63,00
c (kPa)	61,00

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos Gonzales; Sr Atanacio Jara
 Laboratorio

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 27/08/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTECNICOS
Descripción: Calicata 1: Estrato 2
Ensayo: Triaxial

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
P. Muestra Suelo (g)	338,00	351,50	347,60
P. Seco Suelo+Recipi. (g)	334,80	338,90	336,10
P. Recipi. (g)	52,20	44,00	43,90
Altura Prom. Muestra (cm)	10,20	10,07	10,27
Diame. Prom. Muestra (cm)	4,56	4,69	4,62
Area Muestra (cm ²)	16,33	17,24	16,76
Volumen Muestra (cm ³)	74,47	80,76	77,45
% de Humedad	19,60%	19,19%	18,96%
Densidad Humeda (g/cm ³)	4,54	4,35	4,49
Densidad Seca (g/cm ³)	3,79	3,65	3,77

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

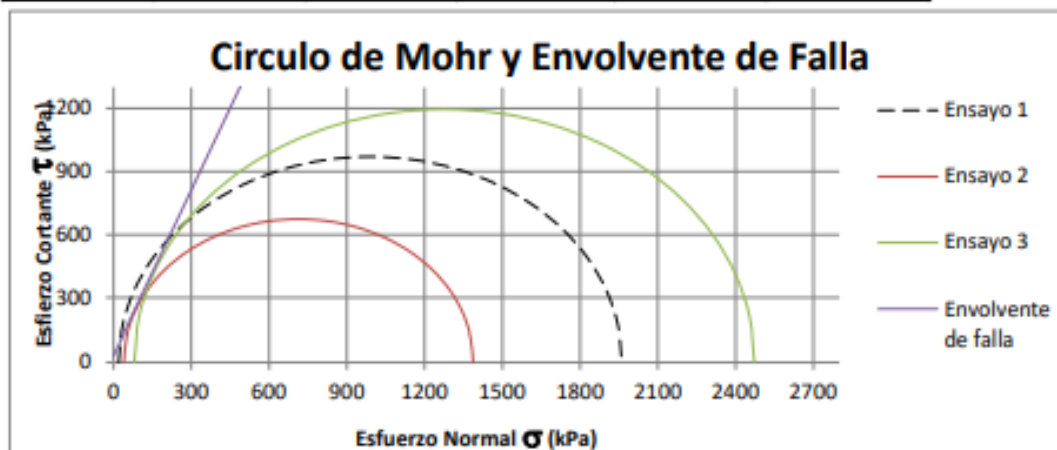
Ing. Marcos Gonzales; Sr Atanacio Jara
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 03/09/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTECNICOS
Descripción: Calicata 2: Estrato 2
Ensayo: Triaxial

Ensayo	Diametro (mm)	Altura (mm)	Presión de Cámara (kPa)	Carga Axial Máxima (Kn)	Deformacion (mm)	Area de la Muestra (m ²)
1	49,800	98,500	20,000	3,917	3,428	0,001948
2	50,800	101,500	40,000	2,810	2,869	0,002027
3	53,000	94,250	80,000	5,490	3,641	0,002206

Ensayo	Def. Unitaria	Area Corregida (m ²)	Esfuerzo Principal Mayor σ_1 (kPa)	Esfuerzo Desviador σ_2 (kPa)	Volumen de la muestra (m ³)
1	0,035	0,00202	1960,982	1940,982	0,000199
2	0,028	0,00209	1387,213	1347,213	0,000212
3	0,039	0,00229	2472,328	2392,328	0,000216



Parametro	
ϕ (°)	69,00
c (kPa)	30,00

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos Gonzales; Sr Atanacio Jara
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Carrera: Ingeniería Civil
Solicitante: Juan Monge
Fecha: 27/08/2021
Proyecto: DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARAMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO METODOS GEOFÍSICOS Y GEOTECNICOS
Descripción: Calicata 2: Estrato 2
Ensayo: Triaxial

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
P. Muestra Suelo (g)	384,60	432,30	497,40
P. Seco Suelo+Recipi. (g)	412,70	435,50	502,10
P. Recipi. (g)	83,00	86,00	70,90
Altura Prom. Muestra (cm)	9,85	10,15	9,43
Diame. Prom. Muestra (cm)	4,98	5,08	5,30
Area Muestra (cm ²)	19,48	20,27	22,06
Volumen Muestra (cm ³)	191,86	205,72	207,93
% de Humedad	16,65%	23,69%	15,35%
Densidad Humeda (g/cm ³)	2,00	2,10	2,39
Densidad Seca (g/cm ³)	1,72	1,70	2,07

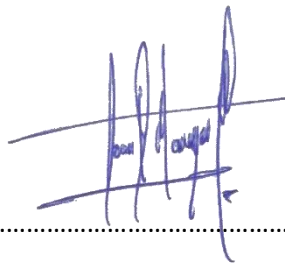
Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos Gonzales; Sr Atanacio Jara
 Laboratorista

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Juan Domingo Monge Guamán** portador de la cédula de ciudadanía N.º 0104152236. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE PARÁMETROS ELÁSTICOS DE LAS CAPAS DEL SUBSUELO APLICANDO MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **27 de enero de 2022**



F:

Juan Domingo Monge Guamán

0104152236